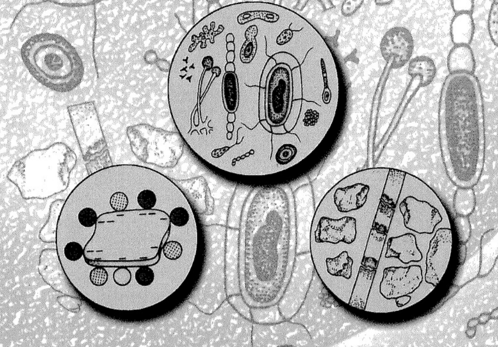
ميكروبيولوجيا التعدين



تأليف

الدكتور عبد الوهاب رجب هاشم بن صادق



جامعة الملك سعود

النشر العلمي و المطابع



ميكروبيولوجيا التعدين

تأليف

الدكتور عبدالوهاب رجب هاشم بن صادق

أستاذ التلوث الميكروبي البيئي

كلية العلوم – جامعة الملك سعود

الرياض – المملكة العربية السعودية

ⓒ جامعة الملك سعود ١٤٢٢هـ (٢٠٠٢م)

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر
ابن صادق، عبدالوهاب رجب هاشم
ميكروبيولوجيا التعدين - الرياض
١٩٦ ص، ١٧×٢٤سم
ردمك: ٢-٢٩٥-٣٧-٩٩٦٠

١-الأحياء الدقيقة ٢- المعادن أ- العنوان

ديوي ٥٧٦ ٢٢/١٨٦٨

رقم الإيداع: ٢٢/١٨٦٨

حكمت هذا الكتاب لجنة متخصصة، شكلها المجلس العلمي بالجامعة، وقد وافق المجلس على نشره - بعد الاطلاع على تقارير المحكمين - في اجتماعه الثالث عشر للعام الدراسي ١٤٢١/١٤٢٢هـ المعقود في ٢/١٢/١٤٢١هـ الموافق ٢٥/٢/٢٠٠١م.

النشر العلمي والمطابع ١٤٢٢هـ

إهـــداء

وفاءً لذكرى من شجعني لتكملة مشوار تعليمي لأخي وشقيقي الغالي - المرحوم بإذن الله تعالى - عبدالله رجب هاشم بن صادق رحمه الله وأسكنه فسيح جناته.

مقدمة

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على أفضل الأنبياء والمرسلين سيدنا محمد وعلى آله وصحبه وسلّم أجمعين.

كان للتشجيع الذي وجدته من بعض زملائي أعضاء هيئة التدريس في الجامعات السعودية والخليجية والعربية الأثر البارز في العمل على إعادة طباعة هذا الكتاب بعد طباعته عن طريق جامعة قطر عام ١٩٩٨م (ISBN: 99921-46-18-4).

ومشروع هذا الكتاب نشأ من حاجة المكتبة العربية إلى هذا النوع من الكتب المتخصصة في مجال العناصر المعدنية والنفط ومشتقاته حيث زود بعدد وافر من المراجع المختلفة حتى يتمكن الباحث المتخصص من الرجوع إليها للاستفادة منها في الدراسات الدقيقة.

وتتضمن فصول الكتاب التحولات الميكروبية للعناصر المعدنية والنفط ومشتقاته ودور الكائنات الحية الدقيقة في الحد من التلوث المعدني والنفطي.

وعند تقديمي لهذا الكتاب للمكتبة العربية لا أدعي فيه الكمال كما أرحب بكل ملاحظة واقتراح أو نقد بناء. والشكر موصولا لسعادة الأستاذ الدكتور/ إبراهيم بن صالح النعيمي مدير جامعة قطر سابقا على دعوته لنشر الكتاب ضمن منشورات جامعة قطر وعلى تقديمه الطيب للكتاب عند طباعته عن طريق جامعة قطر.

والله ولي التوفيق،،،

المؤلف

المحتويات

الفصل الأول

بيئات الكائنات الحية الدقيقة

قبل التطرق إلى دراسة التحولات المختلفة للعناصر المعدنية والتي تقوم بها الكائنات الحية الدقيقة لابد من دراسة البيئات المكروبية، فإذا تعرفنا عليها أمكننا بسهولة استنتاج الدور الذي تقوم به الكائنات الحية الدقيقة في مجال التحولات المعدنية.

فكما هو معلوم فإن بيئة الكائنات الحية الدقيقة (Microbial environment) قد تكون مختلفة من كائن حي دقيق إلى آخر، فيوجد بعضها في التربة وأخرى في الهواء بالإضافة إلى تلك الموجودة في الماء.

وتعتبر التربة المكان الملائم والمناسب لكثير من الكائنات الحية الدقيقة وهي تتكون من المادة المعدنية والماء والهواء والمادة العضوية بالإضافة إلى الكائنات الحية الدقيقة وتلك المكونات السابقة لاتوجد بنسب ثابتة في جميع أنواع التربة، بل تختلف من مكان لآخر باختلاف نوع وموقع التربة.

والتربة عبارة عن الطبقة الخارجية لسطح الأرض وتمتاز بالعديد من الصفات اللازمةلنمو الكائنات الحية الدقيقة، كما أنها المنطقة التي تحدث بها التفاعلات الكيموحيوية بالإضافة إلى أنها تمد الكائنات الحية الدقيقة والنبات بالاحتياج المائي والهوائي والعضوي والمعدني. ولاتنحصر أهمية الكائنات الحية الدقيقة في قدرتها على إحداث الأضرار الصحية والاقتصادية على الإنسان والنبات والحيوان وإنما على دورها في التحولات المعدنية المختلفة (دورات العناصر) لإحداث التوازن البيئي، وقد استفاد الإنسان منها في العديد من المستحضرات الطبية والزراعية

والغذائية والتخلص من المخلفات والنفايات وإزالة التلوث المعدني والنفطي كما استخدمت أيضاً في الحرب الجرثومية.

تحتوي التربة على خمسة مجاميع رئيسة من الكائنات الحية الدقيقة هي البكتيريا (Bacteria) والفطريات (Fungi) والطحالب (Algae) والحيوانات الأولية (Protozoa) والفيروسات (Viruses).

فالبكتيريا من أكثر المجاميع الميكروبية انتشاراً في التربة كما أنها ذات أهمية بالغة في التغيرات الحيوية المختلفة مثل التمثيل الغذائي وتحليل المركبات العضوية ويمكن وضع الأنواع البكتيرية في قسمين رئيسيين، القسم الأول يضم الأنواع المستوطنة للتربة بصفة طبيعية ودائمة والقسم الثاني يشمل الأنواع التي تنمو في التربة نتيجة للظروف الملائمة مثل وجود المواد العضوية بكثرة أو ملائمة المحتوى المائي، ويعتبر القسم الأول أكثر حيوية من القسم الثاني في القيام بجميع التحولات المختلفة التي تحدث في التربة.

وضعت العديد من الأسس التقسيمية لتصنيف البكتيريا على أساس الاختلافات الظاهرية والتشريحية والفسيولوجية والوراثية والسيرولوجية ويعتبر نظام برجي لتصنيف البكتيريا (Bergey's (manual of determinative bacteriology) من أكثر الأنظمة المستخدمة في التصنيف البكتيري، فعلى سبيل المثال استخدمت بعض الخصائص الكيميائية والحيوية في التصنيف مثل قدرة بعض الأنواع على النمو في غياب الأكسجين وعليه فقد أمكن ملاحظة وجود بكتيريا لاهوائية (Anaerobes) وهوائية (Aerobes) وبكتيريا لا هوائية اختيارية (Facultative anaerobes) ومن ناحية التصنيف الظاهري أمكن الاستدلال على أن هناك طرزاً عصوية (Bacilli) وكروية (Cocci) وحلزونية (Spirilla) (الكسندر، ١٩٨٢م). كما تقسم البكتيريا بالنسبة لمصادر الكربون والطاقة إلى بكتيريا عضوية التغذية (Heterotrophic) وتحصل على احتياجها الغذائي من الكربون والطاقة من مصادر عضوية معقدة ومنها *Pseudomonas* sp. وبكتيريا ذاتية التغذية (Autotrophic) وتحصل على الكربون اللازم لها من ثاني أكسيد الكربون وتقسم بالنسبة لمصادر الطاقة إلى بكتيريا ذاتية التغذية كيميائية (Chemoautotrophic) وتنمو في غياب الضوء وتستمد

الطاقة من تحليل مواد كيميائية مختلفة ومنها بكتيريا التأزت (Nitrifying bacteria) مثل *Nitrosomonas* sp. وبعض أنواع بكتيريا الكبريت مثل *Thiobacillus* sp. وبكتيريا الميثان مثل *Methanobcterium* sp. وبكتيريا الحديد مثل *Sphaerotilus* sp. وبكتيريا ذاتية التغذية ضوئية (Photoautotrophic) وتستمد الطاقة من الضوء ومنها بكتيريا الكبريت الأرجوانية (Purple sulfur becteria) وبكتيريا الكبريت الخضراء (Green sulfur becteria) (طه، ١٩٧١م؛ السعد، ١٩٨٠م).

وتمثل الفطريات (Fungi) جزءاً كبيراً من الكتلة الحيوية لميكروبات التربة، وتنمو على صورة خيوط متشابكة (Hyphae) مع بعضها مكونة الغزل الفطري (Mycelium) ويمكن تقسيم الفطريات اعتماداً على الصفات الظاهرية بدرجة كبيرة بالإضافة إلى الصفات السابقة.

وتوجد الخيوط الفطرية في التربة على هيئة خضرية ويتم التكاثر عن طريق الجراثيم الجنسية أو الكونيدات اللاجنسية والتبرعم والانقسام المستعرض وتكوين الأجسام الحجرية والجراثيم الداخلية، وهي خالية من البلاستيدات الخضراء وتصنف حسب ظروف معيشتها إلى فطريات إجبارية التطفل (Obligate parasites) واختيارية التطفل (Faculatative parasites) وإجبارية الترمم (Obligate saprophytes) واختيارية الترمم (Faculatative saprophytes) وفطريات متكافلة (Symbiotic fungi) ويتم تصنيفها على العديد من الأسس المختلفة والتقسيم الذي وضعه (Martin,1961) هو المتبع لدى علماء الفطريات حتى الآن (الرحمه، ١٩٩٢م).

وعموماً تشمل الفطريات أربع مجموعات أساسية هي الفطريات الطحلبية (Phycomycetes) ويكون فيها الغزل الفطري غير مقسم بجدر عرضية وتتكاثر جنسياً بالجراثيم الزيجية مثل *Rhizopus* sp. أو الجراثيم البيضية مثل *Plasmopara* sp. والفطريات الراقية وفيها يكون الغزل الفطري مقسم بجدر عرضية ومنها الفطريات الأسكية (Ascomycetes) مثل *Peziza* sp. والفطريات البازيدية (Basidiomycetes) مثل *Puccinia* sp. والفطريات الناقصة (Imperfect fungi) وهذه لم يسجل فيها تكاثر جنسي وتسمى أيضاً (Deuteromycetes) مثل الفطرة *Curvularia* sp.

وتنتشر الطحالب في أوساط التربة المحتوية على رطوبة ملائمة وضوء وفير، وهي أقل عدداً من البكتيريا والفطريات كما تمتاز بقدرتها علي القيام بالتغذية الذاتية (المستقلة) باستخدام اليخضور (Chlorophyll) وضوء الشمس للقيام بعملية التمثيل الضوئي (Photosynthesis) ومنها الطحالب الخضراء (Choloophyta) والخضراء المزرقة (Cyanobacteria) والخضراء المصفرة (Xanthophyta) والدياتومات (Bacillariophyta) وهي ذات أهمية خاصة في التوازن البيئي عن طريق زيادة نسبة الكربون العضوي وخصوبة التربة والمحافظة على تركيبها بالإضافة إلى أن لبعضها قدرة على تثبيت النيتروجين الجوي وقد استغلت هذه الظاهرة في زيادة المحتوي النيتروجيني لأراضي الأرز في بعض مناطق آسيا وتختلف في تركيبها الخضري فبعضها وحيد الخلية كما تكون تجمعات في صورة مستعمرات أو على شكل خيوط طحلبية متفرعة أو غير متفرعة ولقدرتها على التمثيل الضوئي فهي ذات احتياج غذائي بسيط ويعتمد بعضها في نموه على الأملاح العضوية وتتكاثر لاجنسياً بالنمو الخضري أو بالجراثيم اللاجنسية بتكوين جراثيم سوطية متحركة (Zoospores) أما تكاثرها الجنسي فبواسطة جاميطات متحركة متشابهة وفي الأنواع الراقية يتم التكاثر بالجاميطات (Gametes) المتحركة مختلفة الأحجام.

أما الحيوانات الأولية (Protozoa) فهي عبارة عن كائنات حية دقيقة وحيدة الخلية وقد قسمت إلى الأنواع المتحركة بواسطة الأسواط (Flagellates) والمتحركة بواسطة الأقدام الكاذبة (sarcodina) والهدبيات (Ciliates) وتتكاثر لا جنسياً بواسطة الانقسام الثنائي كما توجد بعض الأنواع التي تتكاثر جنسياً، كما قد تكون مترممة على المواد العضوية الميتة (Sapro zoic) أو تلتهم الميكروبات الصغيرة (Holo zoic) وتكثر في الطبقة السطحية من التربة ولها دور مهم في التوازن البيئي وتحولات العناصر المعدنية وخصوبة التربة (المصلح والحيدري، ١٩٨٣م).

كما أن الأوليات تتواجد مع المجاميع المختلفة من الكائنات الحية الدقيقة على هيئة مختلفة من الأشكال والأحجام وتعيش معيشة حرة في الوسط البيئي مثل التربة والماء وتوجد متطفلة على الإنسان والحيوان والنبات، ولها شكل مغزلي أو بيضي أو مستدير وتتكاثر بالانقسام الثنائي البسيط كما يتكاثر بعضها بالتكاثر الجنسي

وتسبب العديد من الأمراض مثل مرض النوم ويسببه *Trypanosoma* ومرض انتامبيا اللثة وتسببه *Entamoeba gingiralis* وانتاميبا الدوسنتاريا *Entamoeba histolytica* ومرض الملاريا ويسببه الحيوان الأولي *Plasmodium*.

تعتبر الفيروسات (Viruses) من أصغر الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض للإنسان والنبات والحيوان والكائنات الحية الدقيقة الأخرى مثل الفطريات والبكتيريا، ويتراوح أحجامها من (١٠-٣٠٠) نانو متر وتصنف على أساس احتوائها على الحمض النووي (DNA) أو(RNA)، كماتؤثر على الخلايا الحية بقتلها وهذا يسمى الأثر الاستسلامي (Cytopathic effect)، قد لاتموت الخلية ولكنها تتحول إلى خلية ذات خصائص سرطانية خبيثة كما قد يظل الفيروس ساكن داخل الخلية ولكن عند توفر الظروف الملائمة يحدث العديد من الاضطرابات بالخلية، وعلى الرغم من كونها لاتنمو داخل كريات الدم الحمراء إلا أنها تستطيع أن تحولها إلى كرات ملتصقة ومتراصة وهذا يطلق عليه التراص الدموي (Haemogglutination).

هناك العديد من العوامل الفيزوكيميائية التي تؤثر على الفيروسات مثل الحرارة حيث يتعطل نشاطها عند درجة حرارة (١٠٠ °م)، كما أن لبعضها قدرة على تحمل الجفاف وتستطيع الأشعة فوق البنفسجية إيقاف نشاطها (عمر، ١٩٨٦م).

توجد العديد من العوامل البيئية المؤثرة على النمو الميكروبي مثل درجة الحرارة والماء والأكسجين والضغط وتفاعل التربة. فدرجات الحرارة ذات أهمية كبرى في تحديد سيادة المجاميع الميكروبية، كما تستخدم المعاملات الحرارية المرتفعة لإيقاف النشاط الميكروبي وعليه فكلما زادت درجة الحرارة زاد معدل النمو حتى نهاية مدى معين من درجات الحرارة وهو المدى الذي تزيد فيه سرعة التفاعلات الكيميائية والإنزيمية دون إتلاف الأحماض النووية والبروتينات أما إذا زادت عن ذلك المدى فإن معدل النمو ينخفض بسرعة كبيرة وبناءً على ذلك أمكن استنتاج أن هناك كائنات حية دقيقة محبة لدرجات الحرارة المعتدلة (Mesophiles) وأن هناك كائنات حية دقيقة محبة لدرجات الحرارة المرتفعة (Thermophiles) كما توجد كائنات حية دقيقة محبة لدرجات الحرارة المنخفضة (Psychrophiles).

وتعتبر درجات الحرارة السابقة الذكر خواص محددة مهمة لكل نوع من أنواع الميكروبات ولكنها تتغير وليست ثابتة (النخال، ١٩٨٧م؛ السعد، ١٩٨٠م).

والماء من المتطلبات الأساسية للكائنات الحية مصداقاً لقوله تعالى: ﴿وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ﴾ [الأنبياء: ٣٠]. كما أن جميع التفاعلات الحيوية والكيميائية تتم في وجود الماء وهو ضروري لتحليل وتفتيت العناصر المغذية للخلية الحية كما أنه يحفظ رطوبة البروتوبلازم الخلوي وعليه فإن جميع الأنشطة الميكروبية تتوقف عند الجفاف فقد وجد أن البكتيريا المسببة لمرض الزهري *Treponema pallidum* حساسة للجفاف وتموت إذا تعرضت للهواء وبالمقابل توجد بعض الأنواع البكتيرية مثل *Mycobacterium tuberculosis* والمسببة لمرض السل تستطيع مقاومة الجفاف لاحتوائها على غطاء سميك من الدهون كما أن الجراثيم الفطرية والبكتيرية تقاوم الجفاف أيضاً بدرجة كبيرة. وعند وجود كائن حي دقيق في محلول مائي منخفض لوجود مادة مذابة فإن عليه أن يبذل مجهود إضافي لاستخلاص الماء من المحلول وفي العادة فإن الضغط الإسموزي (Osmotic pressure) للسيتوبلازم الخلوي يكون مرتفعاً عن الوسط الخارجي للسماح بمرور الماء من خارج إلى داخل الخلية، وهناك العديد من الميكروبات المحبة للتركيزات العالية من السكر (Osmophiles) وأيضاً كائنات حية دقيقة محبة للتراكيز العالية من الملح (Halophiles). والكائنات الحية الدقيقة تتحمل الضغط الجوي العادي (١٤,٧ رطل على البوصة المربعة) وعليه فإن الميكروبات الموجودة في قمم الجبال يقع عليها ضغط أقل من الضغط الجوي العادي أما تلك التي تعيش في قيعان البحار والمحيطات فتتحمل ضغوط مائية مرتفعة وأطلق عليها كائنات حية دقيقة محبة للضغوط العالية (Barophiles)، كما أن معظم الميكروبات التي عزلت من التربة تنمو تحت الضغط الجوي العادي ولكنها تتوقف عن النمو والنشاط عند (٢٠٠-٦٠٠) ضغط جوي وهذا راجع إلى التأثير على النفاذ الخلوي والإنزيمات.

وتختلف الكائنات الحية الدقيقة بالنسبة للاحتياج الأكسجيني، فوجد أن هناك كائنات حية دقيقة إجبارية التهوية (Obligate aerobes) وكائنات حية دقيقة

لاهوائيـة إجبـارية (Obligate anaerobes) وأيضـاً لا هوائيـة اختيـارية (Facultative anaerobes) ولاهوائية تتحمل وجود الهواء (Aerotolerant anaerobes) وهي تتنفس لا هوائياً فقط ولكنها لا تتوقف عن النمو في وجود الأكسجين بل تستمر في النمو اللاهوائي، وعليه فإنه يمكن التحكم في نمو الكائنات الحية الدقيقة بالتحكم في الأكسجين، وقد استغلت هذه الظاهرة في الصناعات الغذائية للأغذية المعلبة ومقاومة البكتيريا، كما أن جميع الأنواع البكتيرية تحتوي على إنزيمات قابلة للتفاعل مع الأكسجين ولكن في الميكروبات إجبارية التهوية واللاهوائية التي تتحمل وجود الهواء فيتم التخلص من فوق الأكاسيد بواسطة إفراز إنزيم (Superoxide dismutase) لإنتاج الأكسجين وفوق أكسيد الهيدروجين بواسطة إفراز إنزيم (Catalase) وقد أمكن ملاحظة أن البكتيرياللاهوائية الإجبارية لاتحتوي على تلك الإنزيمات مما يجعلها حساسة لوجود الأكسجين (النخال، ١٩٨٧م).

وتفاعل التربة (حموضة أو قلوية محلول التربة) والذي يعبر عنه بتركيز أيون الهيدروجين ويرمز له بالرمز (pH) وهو عبارة عن الأس السالب لتركيز أيون الهيدروجين في المحلول وهو يحدد نوع الكائنات الحية الدقيقة المستوطنة للوسط البيئي ولكل كائن حي دقيق رقم هيدروجيني مناسب لنموه وأنشطته المختلفة وعموماً فإن معظم الميكروبات تفضل الأرقام الهيدروجينية (٧-٩) ويمكن القول أن لكل كائن حي دقيق حداً أمثل وأدنى لنموه من الرقم الهيدروجيني، كما أن هناك كائنات حية دقيقة تفضل الحموضة (Acidophiles) وأيضاً كائنات حية دقيقة اختيارية الحموضة (Facultative acidophiles).

بالإضافة الى العوامل البيئية السابق ذكرها، تحتاج بعض الكائنات الحية الدقيقة إلى بعض المركبات العضوية والتي يجب أن تضاف إلى الوسط البيئي، وهذه تسمى عوامل النمو (Growth factors) وقد قسمت حسب تركيبها واحتياج الكائنات اليها إلى:

أ) الأحماض الامينية (Amino acids)

ب) الفيتامينات (Vitamins)

وعنصر الكربون يعتبر من أهم العناصر اللازمة للنمو الميكروبي حيث يدخل

في تركيب البروتوبلازم الخلوي ويمده بالطاقة، وقد قدرت نسبة الكربون في العديد من الكائنات الحية الدقيقة فوجد أنه يمثل حوالي (٤٠٪-٥٠٪) من الوزن الجاف (الكسندر، ١٩٨٢م).

وتلعب الكائنات الحية الدقيقة دوراً رئيسياً في التحولات المختلفة لعنصر الكربون في الطبيعة، فهي المسؤلة بدرجة كبيرة عن جميع عمليات التحلل التي تحدث للمواد العضوية وتوفير الطاقة اللازمة للنمو وانتاج الكربون اللازم لتكوين الخلايا الميكروبية الجديدة، فقدرة الكائنات الحية الدقيقة على التحولات المختلفة لعنصر الكربون هي التي تحدد الوسط البيئي وهي تعتمد على العوامل البيئية المناسبة لتمثيل الكربون. وقد تمت في العديد من الأبحاث دراسة تحلل المواد الكربونية المختلفة في التربة مثل السكريات والنشا والسليلوز واللجنين.

أما عنصر النيتروجين يعتبر أيضاً من أهم العناصر الواجب توافرها في الوسط البيئي كما انه يعتبر الاساس في تكوين البروتين أي أساس البروتوبلازم في جميع الكائنات الحية، كما أنه من اكثر العناصر تعرضاً للتغيرات البيولوجية التي تحدث في الطبيعة.

يتوفر عنصر النيتروجين الغازي بكميات كبيرة في الهواء لذا فإن الأساس في دورة النيتروجين في الطبيعة هو تثبيته بواسطة الكائنات الحية الدقيقة، وعند دراسة دورة النيتروجين في الطبيعة تتضح لنا أهمية الكائنات الحية الدقيقة في جميع الخطوات التي تتم داخل الدورة. لذا فإن قدرة الكائنات الحية الدقيقة على تمثيل النيتروجين تعتبر الأساس في تعويض النقص الذي يحدث في الوسط البيئي.

كما يعتبر عنصر الكبريت من العناصر المهمة في الوسط البيئي ويوجد هذا العنصر في بعض الصور العضوية مثل بعض الأحماض الأمينية وأيضا في صور غير عضوية مثل الكبريتات ويحدث لهذا العنصر العديد من التحولات في الوسط البيئي بواسطةالكائنات الحية الدقيقة مثل المعدنة وأكسدة مركبات الكبريت المعدنية واختزال الكبريتات.

أما عنصر الفوسفور فيوجد في التربة في عديد من الصور تبعاً لنوع التربة

وخواصها الفيزيائية والكيميائية وعموماً يوجد في التربة في صورتين، الأولى صورة معدنية مرتبطة مع بعض العناصر الأخرى مثل الكالسيوم والحديد والالمنيوم والصورة الثانية العضوية وهي موجودة في بقايا الأحياء. وتقوم الكائنات الحية الدقيقة بدور حيوي في العمل على إذابة الفوسفات المعدني وتحويلة من الصور غير الذائبة إلى الصور الذائبة، كما تقوم بعض الكائنات الحية الدقيقة بالعديد من تفاعلات الأكسدة والاختزال والتي تؤدي إلى اتاحة عنصر الفوسفور وتحويله من الصور المرتبطة إلى الصور الحرة التي يمكن للنبات أن يتسفيد منها.

بالإضافة إلى العناصر المعدنية التي سبق ذكرها هناك بعض العناصر التي يجب توافرها في الوسط البيئي والتي تعتبر مهمة لنمو الكائنات الحية الدقيقة. نذكر منها على سبيل المثال عنصر البوتاسيوم والمنجنيز والزنك والنحاس والحديد والكادميوم.

وينبغي الإشارة إلى أن الكائنات الحية الدقيقة تختلف في مدى قدرتها على التحولات المختلفة لتلك العناصر المعدنية تبعاً للعوامل البيئية التي تحيط وتحدد الوسط البيئي، كما يجب الأخذ في الاعتبار أن قدرة الكائن الحي الدقيق على تحويل عنصر ما تعتمد بالدرجة الاولى على توافر الظروف الملائمة والمناسبة لعملية التحويل.

لذا يمكن القول أن بيئة الكائنات الحية الدقيقة تحددها العديد من العوامل البيئية والتي تلعب دوراً أساسياً في تحديد المجموعات الميكروبية في الوسط البيئي التي تعيش فيه.

وكما هو معلوم فإن الوسط البيئي للكائنات الحية الدقيقة يحتوي على أجناس وأنواع عديدة من الكائنات الحية الدقيقة، بحيث إن كل مجموعة من المجموعات الميكروبية تؤدي وظيفة تلائمها لذلك كان لا بد من تواجدها دائماً في حالة تنافسية للحصول على المتطلبات الضرورية لنموها، وهذا التنافس الميكروبي (Microbial competition) يؤدي إلى أن تقوم الميكروبات بإفراز بعض المركبات العضوية في الوسط البيئي للحد من نمو الكائنات الأخرى وتلك المواد المفرزة تظهر على صور عدة من أهمها المضادات الحيوية (Antibiotics) والسموم (Toxins)، وقد

أمكن بسهولة عزل العديد من الكائنات الحية الدقيقة مثل بعض الفطريات والبكتيريا والأكتينوميسيتس من التربة والتي تفرز أنواعاً مختلفة من المضادات الحيوية والتي منها المضادان الحيويان (Streptomycin) و (Penicillin)، والكائنات الحية الدقيقة التي تفرز المضادات الحيوية تلعب دوراً مهماً في الاتزان الميكروبي في الوسط البيئي وتحديد الأنواع الميكروبية السائدة، وعليه فإن الإتزان الميكروبي(Microbial equilibrium) يعتبر متطلب ضروري في الوسط البيئي لأنه يحدد طبيعة العلاقات التي توجد عليها الكائنات الحية الدقيقة في هذا الوسط.

الفصل الثاني

العلاقة بين الكائنات الحية الدقيقة والكائنات الراقية

تعتبر التربة الوسط البيئي الملائم لنمو الكائنات الحية الدقيقة وتتركب من الجزء المعدني والمادة العضوية والماء بالإضافة إلى الكائنات الحية الدقيقة التي توجد في مجاميع مختلطة تمثل كل مجموعة أجناساً محددة.

تقوم تلك المجاميع الميكروبية في التربة بالعديد من التحولات والأنشطة المختلفة التي تسهم بدرجة كبيرة في تحسين خواص التربة، وأن سيادة المجموعة الواحدة منها تتحدد حسب الظروف البيئية السائدة في الوسط البيئي. كما تشترك الكائنات الحية الدقيقة في العديد من الأنشطة مثل تحليل وتكسير المواد العضوية وإعادة توازن نسبة ثاني أكسيد الكربون إلى الجو بالإضافة إلى التحولات المعدنية المختلفة.

وضعت العديد من الدراسات التصنيفية للكائنات الحية الدقيقة استناداً إلى مجاميعها الرئيسية كما أمكن إيجاد تقسيم طبيعي يعتمد على العلاقات الحيوية في أماكن تواجدها في الطبيعة. وعلى الرغم من كونها متباينة مع بعضها البعض إلا أنها تتشابه في كونها صغيرة الحجم مع بساطة تركيبها الخلوي كما تمتاز بقدرتها على القيام بالأنشطة الحيوية المختلفة مثل التغذية والتكاثر والحركة، ونظراً لاحتواء التربة على أعداد كبيرة منها فهي تلعب دوراً مهماً باحتفاظ التربة بخواصها وتركيبها وقوامها وتهويتها ومحتواها من الرطوبة والمواد العضوية والمعدنية.

وقد أمكن التعرف على التركيبات الخلوية للكائنات الحية الدقيقة ويوجد نوعان من الخلايا الميكروبية أحدهما أطلق عليه بدائية النواة (Procaryotic) وتشمل البكتيريا والطحالب الخضراء المزرقة والنوع الثاني يسمى حقيقي النواة (Euocaryotic) ويشمل الفطريات والأوليات والطحالب والفيروسات، أيضاً أمكن ملاحظة بعض الصفات المميزة لكل منها، فعلى سبيل المثال الخلايا حقيقة النواة اكبر من البدائية وتحتوي الخلايا بدائية النواة على كروموسوم واحد مع عدم وجود غشاء نووي بينما تحتوى الخلايا حقيقية النواة على أكثر من كروموسوم مع وجود غشاء نووي وأن موقع الفسفرة التأكسدية في الخلايا حقيقة النواة الميتوكندريا وموقع التمثيل الضوئي البلاستيدات الخضراء وأن الغشاء السيتوبلازمي يعتبر موقع للفسفرةالتأكسدية والتمثيل الضوئي في الكائنات الحية الدقيقة بدائية النواة. واستناداً إلى تلك الصفات فإن الكائنات الحية الدقيقة توجد في الوسط البيئي في مجاميع مختلطة تتنافس فيما بينها على الغذاء لضمان استمرار أنشطتها الحيوية المختلفة (حجازي، ١٩٨٩م).

وتدخل الكائنات الحية الدقيقة مع بعضها في العديد من العلاقات المشتركة للحصول على الغذاء والحماية اللازمة لمواجهة التغيرات التي تحدث في الوسط البيئي نتيجة للعوامل البيئية المختلفة، وقد أمكن دراسة تلك العلاقات وفهم مدى تأثر كل مجموعة من المجاميع الميكروبية وأنها قد تكون علاقة ذات منفعة أو تبادل منفعة أو علاقة تطفل أو تكافل، وعموماً فإن مجمل تلك العلاقات يؤدي إلى التكامل الأحيائي (Metbiosis)، وفيه تسهم الكائنات الحية الدقيقة في توفير الظروف الملائمة لنموها في الوسط البيئي وهذا يظهر بصورة واضحة في العديد من الأنشطة الحيوية للكائنات الحية الدقيقةمثل التغيير في جهد الأكسدة والاختزال (Oxidation - reduction potential) عن طريق الكائنات الحية الدقيقة الهوائية لتنمو الكائنات الحية الدقيقة اللاهوائية، كما قد يؤدي التغيير في حامضية الوسط البيئي إلى نمو كائنات حية دقيقة جديدة (الرّجب والقزاز، ١٩٨٢م).

وعموماً توجد في الأوساط البيئية الطبيعية العديد من العلاقات المتبادلة بين الكائنات الحية الدقيقة مما يؤدي إلى نشوء خلايا ميكروبية جديدة باستمرار مع

تقاربها معاً تقارباً وثيقاً يؤدي إلى حدوث تفاعلات مهمة وتسهم أيضاً في التوازن البيئي والحيوي للوسط البيئي ، وقد تحدث تلك العلاقات بين المجاميع الرئيسية بصفة عامة أو بين نوعين منها وفيها يتضح أن تلك العلاقة قد تكون على هيئة حياد أو في صورة تكافل يستفيد كلاهما من هذه العلاقة وأيضاً توجد علاقة التعاون الأولي وهي عبارة عن تبادل منفعة بين النوعين وأنه لايعد حتمياً لبقائها وعلاقة تبادل المنفعة من جهة واحدة حيث يستفيد النوع الواحد بينما لايتأثر الآخر ثم علاقة التنافس وفيها يحدث توقف لنمو أحد النوعين وأيضاً توجد علاقة التضاد حيث يتوقف نمو أحد النوعين نتيجة لإفراز بعض المثبطات الميكروبية مثل السموم الفطرية والمضادات الحيوية وأخيراً علاقة التطفل والافتراس حيث يهاجم أحد الأنواع النوع الآخر مباشرة (الكسندر ، ١٩٨٢ م)، والعلاقات المفيدة تشمل التكافل والتعادل الأولي والمنفعة من جهة واحدة وفيها يتم تحليل المركبات العضوية المعقدة إلى مركبات أقل تعقيداً بواسطة بعض الكائنات الحية الدقيقة مما يسهم في الاستفادة منها بواسطة بعض الكائنات الحية الدقيقة غير التخصصية ، ومن الأمثلة الأخرى أيضاً قدرة بعض الكائنات الحية الدقيقة على تقليل الحموضة في الوسط البيئي كما تساعد الميكروبات الهوائية الميكروبات اللاهوائية على النمو باستهلاكها للأكسجين وهناك بعض الفطريات تستطيع إنتاج بعض الإنزيمات لتحليل السليلوز والذي يستخدم كمصدر للكربون للبكتريا والفطريات غير المحللة للسليلوز ، وتستطيع بعض الميكروبات تكوين الفيتامينات اللازمة لنمو بعض الميكروبات والتي لا تستطيع تكوينها وهناك العديد من الأمثلة لعلاقات تبادل المنفعة بين الكائنات الحية الدقيقة نذكر منها الأشنات (Lichens) وفيها تعيش الفطريات المتخصصة مع بعض الطحالب معيشة تبادل منفعة ينتج عنها تحور للفطر والطحلب ينشأ عنه تركيبات معقدة من الخيوط الطحلبية وفيها يقوم الفطر بحماية الطحلب وإفراز بعض الأحماض العضوية كما يعمل الطحلب على إمداد الفطر بالمواد العضوية أثناء عمليات التمثيل الضوئي ويمكن اعتبارأن علاقة الطحلب مع الفطر لتكوين الأشنات ليس إلانتيجة لتبادل الأكسجين وثاني أكسيد الكربون بين الكائنين . وتسهم الأشنات بدرجة كبيرة

في خصوبة التربة والإحتفاظ بالخصائص الجيدة لها مثل الرطوبة و التهوية كما تستخدم كمؤشر لقياس التلوث المعدني.

ومن صور العلاقات المفيدة ما يحدث بين الكائنات الحية الدقيقة والقناة الهضمية للحيوانات الثديية حيث سجل وجودها في الأمعاء الدقيقة والغليظة وهي تلعب دوراً رئيسياً في هضم السليولوز في معدة الحيوانات وتحليله إلى مكونات أقل تعقيداً والتي يتم تخميرها بعد ذلك إلى أحماض دهنية بسيطة وغاز الميثان وثاني أكسيد الكربون والتي تستخدم كمصدر للكربون والطاقة، كما أن علاقة التكافل بين بكتريا العقد الجذرية (Rhizobium) وجذور النباتات البقولية من أكثر الصور انتشاراً للعلاقات المفيدة بين الكائنات الحية الدقيقة والنباتات الراقية ومنها تحصل البكتريا على احتياجها الغذائي والكربون العضوي كما يستفيد النبات من النيتروجين المثبت بواسطة البكتريا وهذه العلاقة من العلاقات الهامة في تثبيت النيتروجين الجوي تكافلياً، وهذا يؤثر على العمليات الزراعية بصفة رئيسة لأن عنصر النيتروجين من العناصر الغذائية اللازمة لنمو النباتات (بن صادق، أ ١٩٩٥م).

كما أن العلاقة التكافلية بين بعض النباتات وبعض الفطريات المتخصصة لتكوين ما يسمى بالفطر الجذري (Mycorrhiza) من الصور الأخرى للعلاقات المفيدة بين الكائنات الحية الدقيقة والنباتات الراقية. فقد وجد أن بعض النباتات مثل الصنوبر (*Pinus* sp.) يدخل في علاقة تكافلية مع بعض الفطر الجذري الخارجية مثل (*Amanita* sp.) لتكوين خيوط فطرية تحاط بالجذر النباتي والتي تساهم بدرجة كبيرة في إمداد النبات باحتياجاته المعدنية وتمكنه من النمو حتى في الأوساط البيئية المحتوية على تراكيز عالية من بعض العناصر المعدنية الثقيلة (Hashem , 1987)، كما تتكون تلك العلاقات في العديد من الثمار والفواكه وقد أمكن باستخدام النظائر المشعة مثل(Zn^{65}) إثبات أن للفطريات الداخلة في هذه العلاقة دوراً كبيراً في احتباس الكميات الزائدة من عنصر الخارصين في المجموع الجذري وإمداد النبات بما يحتاجه من نمو للمجموع الخضري وفي نفس الوقت يأخذ الفطر من النبات احتياجه الغذائي.

أما العلاقات التنافسيه بين الكائنات الحية الدقيقة فتؤدي إلى حدوث العديد

من التأثيرات الضارة عليها وهذا يظهر بوضوح في نقص الأعداد الميكروبية لبعض المجاميع الرئيسية بالإضافة إلى حدوث تثبيط أو وقف للنشاط، والتنافس قد يكون بين الأنواع المختلفة أو بين ميكروبات من نفس النوع.

ويمكن تلخيص علاقة التنافس في حدوث التنافس للحصول على المتطلب الغذائي الموجود بكميات محدودة كما ينشأ ضرر من جهة واحدة حيث تفرز بعض الميكروبات مواد مثبطة لنمو الميكروبات الأخرى، ويحدث التطفل أو الافتراس عندما تتغذى إحدى الميكروبات على الأخرى (الكسندر، ١٩٨٢م)، أما التنافس فيحدث بين السلالات الواحدة من الكائنات الحية الدقيقة مثل بكتيريا العقد الجذرية (Rhizobium) عن طريق اختراق الشعيرات الجذرية للنبات البقولي مما يؤدي إلى تكوين العقد الجذرية، كما قد يظهر التنافس بين الميكروبات على المصادر النيتروجينية والكربونية.

من العلاقات بين الكائنات الحية الدقيقة مع بعضها علاقة التضاد (Antagonism)، وفيها تنتج العديد من الكائنات الحية الدقيقة بعض المواد المثبطة لنمو الكائنات الحية الدقيقة الأخرى نظراً لمحدودية المصدر الغذائي في الوسط البيئي وتلك المواد تظهر على صورة إفراز بعض المضادات الحيوية أو السموم الفطرية، ومن أكثر الكائنات الحية الدقيقة قدرة على إفراز المضادات الحيوية الفطرة *Aspergillus* و *Penicillium* والبكتيريا *Bacillus* و *Pseudomonas* و *Streptomyces* كما أن هناك العديد من السموم الفطرية التي تفرز بواسطة بعض الفطريات مثل الفطره *Aspergillus flavus* والفطرة *Aspergillus parasticus* مثل سموم الأفلاتوكسن (Aflatoxins) وسموم الترايكوثيسين (Trichotecenes) وسموم الزيرالونين (Zearalenone) وتفرزه الفطرة Fusarium roseum وسموم الستروفردين (Citreovirdin) وسموم الاوكراتوكسن (Ochratoxins) وقدأمكن الإستفادة من تلك الظاهرة في إنتاج المضادات الحيوية والسموم الفطرية واستخدامها في المقاومة الميكروبية. كما تلجأ بعض الكائنات الحية الدقيقة إلى علاقات التنافس للحد من نمو أو قتل بعض الكائنات الحية الدقيقة المتنافسة معها عن طريق التمثيل الغذائي لبعض المركبات العضوية مما ينشأ عنه مواد مثبطة، فقد وجد أن كبريتيد الهيدروجين والميثان تحد من

نمو بعض الميكروبات ونشاطها كما يسبب تراكم النترات والنيتريت في التربة الحد من نمو بعض الفطريات والبكتريا ويعد الإفتراس والتطفل من العلاقات بالغة التأثير على نمو الكائنات الحيه الدقيقة وفيها يقوم المفترس (Predator) بالتغذي على الفريسة (Prey) مسبباً لها الموت وعموماً فإن الفريسه أصغر حجماً وأكثر عدداً من المفترس وهي تعتبر نوع من التغذية (Phago throphic feeding) وتعد الحيوانات الأولية المفترسة والفطريات من أكثر الميكروبات قدرة على إفتراس البكتيريا ومنها الحيوان الأولي *Myxomycetes* sp. و*Myxobaterial* spp. و*Pollyangium* spp. و*Archangium* sp. (محمود وآخرون، ١٩٨٨م). كما أن البكتيريا والفطريات الهلامية تستطيع التغذية مباشرة على بعض الأنواع البكتيرية بواسطة إنتاج بعض الانزيمات الخارجية لتحللها وتدمرها، وهناك على سبيل المثال الجنس *Bacillus* والذي يفرز إنزيمات خارجية تحلل الغزل الفطري لبعض الفطريات وهذه الظاهرة قد تكون تحلل مختلط (Heterolysis) بواسطة الانزيمات الخارجية التي تفرزها الكائنات المفترسة وقد يكون تحلل ذاتي (Autolysis) وفيه يحدث تحلل للخلية الميكروبية وتدميرها بواسطة إنزيمات تفرز بواسطة الكائن الدقيق. تستطيع الكائنات الحية الدقيقة المفترسة إفراز إنزيمات خاصة لتحليل جدار الخلايا للكائنات الحية الدقيقة (الفريسة) ومن تلك الإنزيمات إنزيم (Cellulase) و(Chitinase) و (Peptidoglycanase) وهذه تحلل السليولوز والكيتين الموجود في الخلايا الفطرية وكذلك طبقة الميورين التي توجد في الخلايا البكتيرية والطحالب الخضراء المزرقة، وبالمقابل تستطيع بعض الأنواع البكتيرية مقاومة عملية الافتراس عن طريق إفراز بعض المواد اللزجة أو عن طريق تكوين غلاف خارجي أو إفراز بعض السموم البكتيرية مثل البكتيريا *Chromobacterium* (محمود وآخرون، ١٩٨٨م).

أما التطفل (Parasitism) فيحدث بين بعض الانواع البكتيرية والفطرية والحيوانات الأولية والفيروسات، وفيه يتغذى الطفيل (Parasite) على كائن حي دقيق أكبر منه حجماً فيسبب له العديد من الأضرار، وقد يكون التطفل اختيارياً (Faculatative parasitism) كما قد يكون أيضاً إجبارياً (Obiligate parasitism) ففي التطفل الاختياري يعيش الكائن الحي الدقيق مستقلاً أو متطفلاً أما في التطفل

الإجباري فلا يستطيع الكائن الحي الدقيق النمو على العائل الحي وهذا كما يحدث في لاقمات البكتيريا (Bacteriophages)، وفيه تتطفل الفيروسات على بعض البكتيريا (الكسندر، ١٩٨٢م).

ومن صور التطفل الأخرى تطفل البكتيريا على نوع آخر من البكتيريا مثل *Bdelovibrio* spp. والتي تتطفل على *Enterobacter* spp.، كما تتطفل الفطريات على الديدان الجذرية والحيوانات الأولية وتتعرض أيضاً الفطريات للتطفل من قبل بعض الفطريات ومن أهم الأجناس المتطفلة *Gliocladium* و*Penicillium* و*Rhizoctonia* و*Trichoderma* (الكسندر، ١٩٨٢م).

ومن العلاقات بين الكائنات الحية الدقيقة والنباتات الراقية مايحدث في المنطقة المحيطة بجذر النبات (Rhizosphere) حيث تتواجد أعداد كبيرة من الكائنات الحية الدقيقة في المنطقة الملاصقة لجذور النباتات والتي تعد ملائمة للنمو والنشاط الميكروبي، كما يؤثر النبات بدرجة كبيرة على الكائنات الحية الدقيقة عن طريق إفراز بعض المركبات والتي تستخدم من قبل الميكروبات كمصادر للطاقة وغيرها وتسهم أيضاً في إنبات الأطوار الساكنة لبعض الميكروبات وقد تفرز النباتات بعض المواد المضادة للنمو الميكروبي، أما تأثير الكائنات الحية الدقيقة فهو عن طريق ما يفرزه من مواد مثبطة أو منشطة وماتقوم به من تحولات معدنية مختلفة وإمداد النبات بما يحتاجه من العناصر المعدنية وتسهم أيضاً في نمو النبات في البيئات المحتوية على تراكيز عالية لبعض العناصر المعدنية السامة (Hashem, 1987).

وقد أمكن الإستفادة من تلك العلاقات في استنباط العديد من المركبات واستخدامها في العلاج الكيميائي والمقاومة الميكروبية، كما استخدمت بعض الكائنات الحية الدقيقة في المقاومة الحيوية (Biological control).

الفصل الثالث

علاقة الكائنات الحية
الدقيقة بالتلوث البيئي

نظراً لانتشار الكائنات الحية الدقيقة في جميع الأوساط البيئية وتوفر العوامل البيئية المختلفة والتي أسهمت بدور فعال في النمو والأنشطة الميكروبية، فقد أدى ذلك إلى قدرة الكائنات الحية الدقيقة على إلحاق العديد من الأضرار الصحية والاقتصادية على النظام البيئي ونشوء التلوث البيئي (Environmental pollution) والذي شمل في الوقت الحالي جميع مايتصل بحياة الإنسان اليومية محدثاً العديد من المشكلات مثل التلوث الغذائي والهوائي والمائي والمعدني والنفطي والتلوث بمخلفات الصرف الصحي والذي تقوم فيه الكائنات الحية الدقيقة بدور رئيسي (بن صادق، أ ١٩٩٥م).

ويعد التلوث البيئي في الوقت الحالي مشكلة العصر نتيجة للإخلال الشديد الذي حصل في النظام البيئي. لقد أوجد الله عزوجل العناصر البيئية بتوازن ونظام دقيق مصداقاً لقوله تعالى: ﴿إِنَّا كُلَّ شَيْءٍ خَلَقْنَاهُ بِقَدَرٍ﴾ [القمر: ٤٩]، ولكن يأبى الإنسان ذلك فعمد إلى الإخلال بذلك النظام المتوازن نتيجة لرفاهيته وحاجته إلى المزيد من الإختراعات كما أسهمت الثورة الصناعية في ذلك نتيجة للفائض الكبير من المخلفات الصناعية والزراعية والكيميائية وغيرها مما يصعب حصره وأدى كل ذلك إلى تلوث البيئة بكل صورها بل ونشأ عن ذلك أيضاً مسميات جديدة لأنواع مختلفة من الملوثات البيئية.

ويمكن القول أن التلوث لا يعترف بالحدود الدولية بين الدول، فعند حدوثه في أي بلد من البلدان التي حدث فيها التلوث ينتقل إلى البلدان البعيدة عن أماكن التلوث عن طريق التيارات الهوائية والأمثلة على ذلك كثيرة في التلوث بالمواد المشعة والنفط ذلك لأن البيئة وحدة متصلة.

وعندما شعر الإنسان بخطورة التلوث البيئي سعى إلى عقد المؤتمرات واللقاءات لوضع الأسس العلمية للتخلص من الخطر الحالي وعمد أيضاً إلى وضع التشريعات والأنظمة الخاصة بالحماية البيئية من التلوث.

والكائنات الحية الدقيقة واسعة الانتشار في جميع الأوساط البيئية التي تشكل النظام البيئي بنسب ثابتة ومحدودة لتقديم الدور المنشود لتواجدها في تلك البيئات بما يفيد حاجة الكائن الحي، وقد أدى تغير الظروف المحيطة بها إلى حدوث العديد من التغيرات المختلفة ومنها تواجدها بنسب دقيقة في النظام البيئي. والأمثلة على ذلك كثيرة فقد أدخلت إلى البيئة الطبيعية أصناف وأنواع جديدة من المخصبات والمبيدات الزراعية والتي أسهمت في تلويث الهواء والتربة، كما تلوثت البحاروالأنهار بما تلقيه المصانع من مخلفات كيميائية وأصبح الجو المحيط ملوث بما تقذفه المصانع من أبخرة وغازات سامة وزادت نسبة مخلفات الصرف الصحي للإنسان والتي يقابلها قلة في الطرق الصحية لمعالجة تلك المخلفات والإستفادة منها. وأضيفت إلى البيئة الطبيعية كميات كبيرة من النفط ومشتقاته ومن المنظفات الصناعية والمنزلية وماينطلق عن محطات التجارب والمفاعلات النووية، وتلك الإضافات المختلفة إلى البيئة الطبيعية أدت إلى تحول الكائنات الحية الدقيقة لتقوم بدورجديد لتحليل تلك المخلفات الضارة وتحويلها إلى مواد معقدة أو أقل تعقيداً تضاف إلى النظام باستمرار، ويمكن القول عموماً أن للكائنات الحية الدقيقة في الوقت الحالي إرتباط وثيق بالتلوث البيئي.

لاشك أن توفر الظروف البيئية المحيطة بالكائنات الحية الدقيقة أدى إلى نشوء كائنات حية دقيقة ذات صفات وخصائص تلائم الوضع الجديد للاستفادة من إضافات الإنسان للنظام البيئي، وهذا يمثل بالفعل الواقع العملي حيث أمكن ملاحظة أن هناك بعض الكائنات الحية الدقيقة ذات قدرة على هضم وتحليل النفط

ومشتقاته وكائنات حية دقيقة تستطيع مقاومة التركيزات العالية من العناصر المعدنية وبالتالي دورها المهم في التوازن البيئي عن طريق الإمداد بغاز ثاني أكسيد الكربون للهواء الجوى باستمرار يصاحبها نشوء كائنات حية دقيقة جديدة ذات قدرة على استخدام المصادر الكربونية المختلفة وما يصاحبه من حدوث العديد من التغيرات الحيوية والكيميائية على الوسط البيئي وهذا يؤدي إلى تلوث البيئة بالنواتج المختلفة للتمثيل الغذائي للكائنات الحية الدقيقة كما أن تراكم بعضها يؤدي إلى التلوث البيئي .

وعند تحلل المادة العضوية الموجودة في النبات مثل السليلوز والهميسليلوز واللجنين والسكريات العديدة مثل النشا والكيتين والبكتين يصاحبه تخصص الكائنات الحية الدقيقة المحللة لتلك المركبات المختلفة. فتحلل السليلوز على سبيل المثال يتأثر بالعديد من العوامل البيئية المختلفة مثل درجة الحرارة والتهوية والرطوبة والرقم الهيدروجيني بالإضافة إلى النشاط الميكروبي، وقد أمكن ملاحظة أن أهم الكائنات الحية الدقيقة النشطة في مجال تحلل السليلوز بعض الأجناس البكتيرية مثل: *Bacillus* و *Cytophaga* و *Cellulomones* و *Vibrio* ومن الأجناس الفطرية *Aspergillus* و *Curvularia* و *Fusarium* و *Rhizopus* ومن الأكتينوميسيتات *Micromonospora* و *Nocardia* و *Streptomyces* (الكسندر، ١٩٨٢م؛ Abdel-Hafez al Abdel-Fattah, 1981).

وتحلل السليلوز يؤدي إلى تلوث الأنهار ومخلفات المجاري والأسمدة العضوية بالعديد من الميكروبات الملوثة للنظام البيئي وتعتبر البكتيريا *Clostridium* spp. من أكثر الكائنات الحية الدقيقة في تخمير السليلوز لاهوائياً.

وهناك العديد من الميكروبات الهوائية واللاهوائية التي تستخدم الهميسليلوز لنموها وأنشطتها الحيوية المختلفة وتشمل أنواع من البكتيريا التابعة لأجناس *Erwinia* و *Pseudomonas* و *Micrococcus* والفطريات *Alternaria* و *Chaetomium* و *Penicillium* وهذا يتم عن طريق إفراز أنواع مختلفة من الإنزيمات، فمثلاً تستطيع الفطرة *Fusarium oxysporum* إفراز إنزيم الجلكتيناز والجلوكسيديز والأرابانيز مما يمكّنها من النمو علي أنسجة نبات الطماطم وهذا يسهم في التلوث البيئي (الكسندر، ١٩٨٢م).

أما تحليل اللجنين والسكريات العديدة فيحدث في التربة ببطء شديد وهذا

يؤدي إلى حدوث تغيرات عديدة في الوسط البيئي يصاحبه إفراز بعض الإنزيمات اللازمة لعمليات تحلل الميثان وعموماً فإن حوالي (٨٠٪) من هذا الغاز يرجع إلى النشاط الميكروبي وبالذات البكتيريا المولدة للميثان (Methanogenes bacteria) ومنها الأجناس *Methanobacterium* و *Methanosarcina* و *Methanococcus* و *Methanospirillum* .

كما يحدث تراكم للأحماض العضوية في الأراضي المغمورة بالماء أثناء العمليات الحيوية لتكوين الميثان نتيجة لاستهلاك ثاني أكسيد الكربون بواسطة الميكروبات اللاهوائية يصاحبه زيادة في إنتاج حمض الخل والفورميك مما يؤدي إلى تراكمها في التربة إذا لم تستطع الميكروبات الأخرى تمثيلها ينتج عنها زيادة نسبة الميثان وتلوث البيئة بالفائض من هذا الغاز (الرجب والقزاز، ١٩٨٢م).

وتستجيب أيضاً الكائنات الحية الدقيقة لإضافة النفط ومشتقاته واستناداً إلى النظرية البيولوجية لتكوين النفط فقد تم عزل العديد من الكائنات الحية الدقيقة من النفط الخام، كما أمكن التأكد من قدرة الميكروبات على هضم وتحلل النفط مثل بعض الأنواع المنتمية للأجناس: *Bacillus* و *Arthrobacter* و *Nocardia* و *Pseudomonas* و *Aspergillus* و *Penicillium* (Hashem,1996 b).

وهذا يسهم بدرجة كبيرة في تلوث البيئة بنواتج التحليل المختلفة لتلك الهيدروكربونات والتي قد تصل إلى التربة في صورة زيت خام أو مشتقاته وبذلك تتأثر النباتات وعليه فإنه يمكن بالمقابل معاملة تلك المواقع الملوثة بالميكروبات التي تحلل وتهضم النفط وهذا يخفف من أثر التلوث البيئي. وقد امتد التلوث النفطي ليصل إلى البحار و المحيطات والأنهار نتيجة لحوادث غرق وتصادم ناقلات النفط العملاقة، وحالياً فإن غاز الإيثيلين من أكثر المركبات الهيدروكربونية في تلوث الماء و المنطلق بصفة خاصة من احتراق وقود المركبات و العربات لكن هناك بعض الكائنات الحية الدقيقة المتخصصة في تمثيل هذا الغاز و بالتالي يلاحظ تواجده بنسبة ضئيلة تصل إلى أقل من (٠,٠٠٥) جزء في المليون (النخال، ١٩٨٧م).

أما عنصر النيتروجين فهو من العناصر الضرورية للكائنات الحية، وهو غاز خامل في الجو لكن تستطيع الكائنات الحية الدقيقة تحويله إلى مركبات نيتروجينية مختلفة يستفيد منها في البناء الخلوي وبالذات البروتين، كما تقوم

الميكروبات بالعديد من العمليات الحيوية المختلفة لبناء وتحطيم المركبات النيتروجينية العضوية وينتج عن ذلك تكون الأمونيا والنترات والنيتريت والتي تعتبر من أهم الملوثات البيئية، فالتلوث بالنترات يحدث نتيجة للاستخدام الجائر في المخصبات الزراعية النيتروجينية مما يؤثر بشكل كبير على النشاط الميكروبي ويؤدي إلى تراكمها في الماء والخضروات وينتج عنه إزدهار ونمو بعض الطحالب والنباتات المائية أو ما يطلق عليه الإثراء (Eutrophication) وهذا يؤثر على جودة المياه وصلاحيتها للشرب والاستهلاك الآدمي، كما يحدث للماء تغير في اللون والطعم والرائحة نتيجة لاختلال في التوازن بين متطلبات الأكسجين الحيوي والكيميائي (Biological and chemical oxygan demand) مما يؤثر مباشرة على الكائنات المائية، بالإضافة إلى السابق فإن تلوث مياه الشرب بالنترات يؤدي إلى إصابة الأطفال بمرض زرقة العيون (Methemoglobinemia) وقد أوصت منظمة الصحة العالمية بألا تزيد نسبة النترات في مياه الشرب عن (١٠) جزء في المليون لأن زيادتها في الماء أو الغذاء تؤدي إلى اختزالها في المعدة والأمعاء إلى نتريت ثم تتفاعل مع هيموجلوبين الدم مكونة مركب يسمى (Methemoglobin) والذي يكون ضعيفاً في عمليات نقل الأكسجين إلى الدم، وتتراكم النترات أيضاً في المحاصيل الزراعية وعندما تتغذى عليها الحيوانات تموت أويحدث لها مـــرض (Animal methemeoglobinemia)، ومن المخاطر الأخرى لتلوث النيتريت في التربة تفاعلها مع الأمينات الثانوية (تضاف كمبيدات) لتكون مركب (Nitrosamine) والذي يسبب السرطان للإنسان إذا تناول ماء أو خضروات ملوثة بالنتريت (المصلح والحيدري، ١٩٨٣).

كما تتلوث المياه بالنتريت من المخلفات الصناعية الغذائية حيث تستخدم كمواد حافظة ومقاومة للصدأ. أما المصدر الأساسي لتلوث المياه بالنشادر (NH_3) هو عن طريق الأسمدة العضوية واليوريا حيث تتحلل في التربة مائياً إلي النشادر ومن أكثر الكائنات الحية الدقيقة في تحلل اليوريا البكتيريا *Bacillus* spp. و *Clostridium* spp. و *Corynebacterium* spp. و *Pseudomonas* spp. وعمــومــاً هناك العـديد من الميكروبات ذات القدرة علي إفراز إنزيم (Urease) الذي يساعد علي تحلل اليوريا مائياً (الكسندر، ١٩٨٢م)، كما أن إضافة اليوريا كسماد بكثرة يؤدي إلى تحوله إلى

مركب معقد صعب التحلل وسام لبعض الأنواع النشطة في هذا المجال وهذا يسهم في تلوث الماء الجوفي والسطحي بالنشادر.

وتعد أكاسيد النيتروجين المختلفة مثل أكسيد النيتريك وثاني أكسيد النيتروجين وأكسيد النتروز من الملوثات البيئية وتنتج خلال أكسدة المركبات النيتروجينية العضوية بواسطة الكائنات الحية الدقيقة ومن خلال احتراق الوقود والغاز الطبيعي والفحم الحجري ومن الصناعات المختلفة مثل إطارات السيارات وصناعة الأحماض وتكرير النفط وهذا يؤثر بدرجة كبيرة على طبقة الأوزون مما يؤدي لتعرض الإنسان للتأثيرات الضارة للأشعة فوق البنفسجية (بن صادق، ١٩٩١م).

والمعادلات التالية توضح ذلك:

١- يتكون الأوزون في طبقات الجو العليا نتيجة للعديد من التفاعلات الكيميوضوئية:

$$O_2 \longrightarrow 2O \longrightarrow 2O_3$$

٢- يعد الأوزون الدرع الواقي للحماية من خطر الأشعة فوق البنفسجية، تقوم الميكروبات بإنتاج غاز أكسيد النتروز (N_2O) والذي يتأكسد إلى (NO):

$$N_2O + O \longrightarrow 2NO$$

يعمل غاز أكسيد النتريك (NO) على تدمير كميات من الأوزون:

$$NO + O_3 \longrightarrow NO_2 + O_2$$

$$NO_2 + O \longrightarrow NO + O_2$$

وهناك العديد من المخاطر الصحية على حياة الإنسان نتيجة للتلوث بغاز أكسيد النيتروجين والذي يعمل على تهيج الجيوب الأنفية والمجاري التنفسية واحتقان رئوي بالإضافة إلى تأثر النباتات وتكون الضباب الدخاني.

ويمكن فهم علاقة الكائنات الحية الدقيقة بالتلوث البيئي عن طريق التحولات المختلفة للعناصر المعدنية في الطبيعة وكذلك التحولات المعدنية للمبيدات ومخلفات الصرف الصحي والتي تمت مناقشتها ضمن فصول هذا الكتاب.

إذاً يتضح من السابق دور الكائنات الحية الدقيقة في التوازن البيئي وما تحدثه من مشكلات بيئية مختلفة عند حدوث تغيرات في العوامل البيئية المحيطة بها وأيضاً نتيجة للممارسات الخاطئة للإنسان على سطح الأرض و استخدامه الجائر للعديد من الملوثات البيئية.

الفصل الرابع

العناصر المعدنية في الطبيعة

كما هو معلوم فان التربة عبارة عن حبيبات غير عضوية صغيرة متجمعة ومتماسكة بواسطة المادة العضوية. وهي تعتبر المكان الملائم والمناسب لمختلف الانشطة للكائنات الحية الدقيقة. ونتيجة للدراسات والأبحاث المكثفة لخواص التربة الفيزيائية والكيميائية وجد أنها تحتوي على العناصر المعدنية والتي تؤلف حوالي ٩٢ عنصراً معدنياً في القشرة الأرضية.

وقد اتحدت عناصر القشرة الأرضية بعناصر أخرى لتكّون مركبات تسمى معادن (Minerals) والتي توجد في القشرة الارضية متحدة لتكوين الصخور، وتلعب العوامل المختلفة دوراً كبيراً في تحويل تلك الصخور وتكسيرها إلى حبيبات أصغر تضاف باستمرار إلى التربة ومن أهم تلك العوامل التجوية الطبيعية (Physical weathering) والتجوية الكيميائية (Chemical weathering).

فالتفتيت الطبيعي تشمل بعض العوامل ومنها تفتيت الصخور بواسطة التجمد والذوبان والبرودة والحرارة وأيضا بواسطة الأنشطة المختلفة للكائنات الحية، فعلى سبيل المثال فإن الإنسان ونتيجة للتطور السريع في إنشاء الجسور والسدود والطرق يقوم بعمل تفجيرات ضخمة لتفتيت الصخور وتحويلها إلى قطع صغيرة وبذلك تضاف حبيبات المعادن إلى التربة، أما الحيوان فيقوم بعمل مسكنه داخل الجبال وبذلك يقوم بتفتيت الصخور، وكذلك فإن النبات أثناء نموه فانه يعمل

على تفتيت الصخور نتيجة تغلغل جذوره إلى مسامات الصخور بالإضافة إلى إفرازه لبعض المركبات .

أما التفتيت الكيميائي فتشمل التحليل المائي لبعض المركبات (Water hydrolysis) والتي تعمل على تفتيت الصخور وأيضاً هناك ظاهرة التكربن والتي تعمل باستمرار على تفتيت الصخور، وتوجد العناصر المعدنية في الطبيعة على صور عدة، كل صورة من تلك الصور تختلف في تركيبها وتكوينها عن الصور الأخرى تبعاً للعوامل الجيولوجية التي مرت بها خلال فترة تكوين القشرة الأرضية . ولأن التربة توجد منها أنواع مختلفة على حسب تكوينها، فإننا نجد على سبيل المثال التربة المعدنية وهي الغنية بالعناصر المعدنية وأيضاً توجد التربة العضوية وهي التي تكونت من أصول نباتية أو حيوانية كما أن هناك تربة المستنقعات بالإضافة إلى أنواع عديدة ومختلفة من التربة والتي تختلف في محتواها المعدني، ولتلك الأنواع المختلفة من التربة تأثيرات ميكروبيولوجية خاصة، فعلى سبيل المثال التربة المعدنية تمتاز بوجود كائنات حية دقيقة لها القدرة على مقاومة التراكيز السامة للعناصر المعدنية وأيضاً تمتاز بنشاط كبير في مجال التحولات المعدنية المختلفة .

وحتى نفهم مصدر العناصر المعدنية في الطبيعة لا بد من التطرق إلى كيفية نشوء القشرة الأرضية، حيث إن هناك دورة زمنية جيولوجية محددة توضح كيفية نشوء القشرة الارضية، وقد تم تعريف الأرض بانها نظام ثلاثي الأطوار يتكون من مادة صلبة وسوائل وغازات، وقد تعرضت الأرض عبر الأزمنة المختلفة للعديد من التأثيرات البيئية المختلفة والتي أدت إلى تكوين تربة جديدة تختلف في تكوينها وخصائصها الطبيعية والكيميائية والبيولوجية عن المادة التي نشأت منها .

كما أن تعرض القشرة الأرضية للظروف البيئية المختلفة مثل الحرارة والبرودة والتجوية والتكربن ونشاط الكائنات الحية أدى إلى تشكل التربة إلى العديد من الأفق، كل أفق يمثل تكوين خاص به . فعلى سبيل المثال يوجد الأفق السطحي (Surface horizon) والذي يمتاز بوفرة المادة العضوية، وأيضاً يوجد الأفق السفلي

(Bottom horizon) والذي يمتاز بقلة المادة العضوية وزيادة تركيز العناصر المعدنية السامة مثل الألمنيوم والمنجنيز.

يحدث تلوث للهواء والماء والتربة بواسطة العناصر المعدنية، وهذا التلوث يأخذ صوراً وأشكالاً مختلفة، تختلف باختلاف الوسط البيئي. فعلى سبيل المثال فإن تلوث الهواء بواسطة العناصر المعدنية يحدث بواسطة حرق الأخشاب والفحم الحجري وأيضاً من الغبار المتطاير لمخلفات بعض المركبات العضوية وغير العضوية، كما يحدث من ثوران البراكين وبتبخر ماء البحار بالإضافة إلى العديد من المصادر والتي يصعب حصرها. أما تلوث الماء بواسطة العناصر المعدنية فيحدث نتيجة للأنشطة المختلفة للإنسان والتي من أهمها المخلفات الصناعية والزراعية والتي تحتوي على العديد من المركبات التي يدخل في تكوينها بعض العناصر المعدنية السامة، كما يجب ألا ننسى مخلفات الصرف الصحي والتي تحتوي على تراكيز عالية للعديد من العناصر المعدنية. بالإضافةإلى ما سبق، هناك مناجم الفحم والأنشطة البيولوجية المختلفة والتي تساعد على تلوث الماء بالعناصر المعدنية.

في الوقت الحاضر تضاف إلى المصادر المائية كميات كبيرة من العناصر المعدنية والموجودة في المنظفات الكيميائية التي تستخدم في المنازل والمطاعم والمستشفيات.

ونتيجة لتلوث الماء والهواء والتربة بالعناصر المعدنية فإن ذلك يؤدي في النهاية إلى حدوث العديد من المشكلات البيئية والتي في مقدمتها مشكلات التلوث.

وحتى نفهم طبيعة تلك العناصروما تحدثه في الوسط البيئي فقد قسمت تلك العناصر المعدنية حسب احتياج الكائن الحي الدقيق لها إلى قسمين رئيسيين هما:

١- العناصر الكبرى (Macroelements) وهذه يحتاجها الكائن الحي بكميات كبيرة لنموه ومنها:

عنصر الكربون والنتروجين والفوسفور والبوتاسيوم والكبريت والكالسيوم والمغنيسيوم.

٢- العناصر الصغرى (Microelements) وهذه يحتاجها الكائن الحي بكميات

قليلة لنموه ومنها: النحاس والخارصين والحديد والكوبالت والنيكل والمنجنيز والبورون.

وقد يطلق عليها أحياناً بالعناصر المغذية المعدنية (Mineral nutrients). علماً بأن تلك العناصر تعتبر مهمة للاحتياج البيولوجي للكائن الحي ويحتاجها سواء كانت بكميات كبيرة أو قليلة.

وقد أطلق على العناصر المغذية الصغرى العديد من المصطلحات نذكر منها مصطلح الثانوي أو الأدنى (Minor) أو مصطلح الآثار (Trace) أو مصطلح النادرة (Rare).

ولا بد من إلقاء مزيداً من الضوء على الوظائف المهمة التي تقوم بها بعض العناصر المعدنية، (الجدول رقم ١).

كما تجب الإشارة إلى الطريقة التي يمتص بها العنصر المعدني، فعلى سبيل المثال يمتص النبات النحاس بشكل أيون النحاسيك (Cu^{++}) وقليلاً بشكل أيون النحاسوز (Cu^{+})، اما الخارصين فان النبات يمتصه بهيئة أيوناته (Zn^{++})، كما أن عنصر البورون يمتص بإحدى أشكاله الأيونية المختلفة مثل: $(HBO_3^{2-},\ H_2O_3^{-},\ B_4O_7^{2-},\ BO_3^{3-})$. وعنصر الحديد يمتص بشكل أيونات (Fe^{++}) أو على هيئة مركب عضوي معقد. وعنصر المنجنيز يؤخذ بشكل أيوناته (Mn^{++})، أما عنصر الكالسيوم يمتص بشكل أيونات (Ca^{++}) وعنصر المغنيسيوم فيمتص بشكل أيونات (Mg^{++}). وعادة يمتص النتروجين بشكل أيونات الأمونيوم (NH_4^{+}) والنترات (NO_3^{-}) والنتريت (NO_2^{-}) وبعض المركبات العضوية مثل اليوريا. كما أن أيوني الفوسفات $(HPO_4^{2-},\ H_2PO_4^{-})$ هما اللذان يستطيع النبات امتصاصهما عادة. أما عنصر البوتاسيوم فتمتص أيوناته بشكل (K^{+}).

مما سابق يمكن القول بأن الحالة التأكسدية التي توجد عليها أيونات العنصر المعدني تحدد طبيعة التفاعل الحيوي لهذا العنصر فهي تعطي مدى واسع للكائنات الحية الدقيقة لامتصاص العنصر المعدني بمختلف صور الحالات التأكسدية التي يوجد عليها.

الجدول رقم (١). وظائف بعض العناصر المعدنية.

العنصر	الدور الذي يقوم به
النيتروجين	يدخل في تركيب البروتينات والأحماض الأمينية والأحماض النووية.
الفوسفور	يشترك في تركيب القواعد البروتينية والفوسفولبيدات وكذلك في تركيب (ADP) و (ATP).
الكبريت	يدخل في تكوين البروتينات والأحماض الأمينية وبعض الليبيدات.
الكالسيوم	يشترك في تركيب جدران الخلايا بالمركب (Calcium pectate) أو يوجد في فجوات الخلايا النباتية كناتج عرضي للعمليات الفسيولوجية.
المغنيسيوم	يشترك في حدوث عمليتي البناء الضوئي وتمثيل الكربوهيدرات.
الحديد	يشترك في وظائف العمليات الحيوية المهمة للنبات، فمثلاً دور الحديد كعامل مساعد في تكوين الكلوروفيل في النبات. كما يشترك في مركبات حيوية مهمة مثل السيتوكروم (Cytochromes) التي تدخل في عمليتي البناء الضوئي والتنفس وكذلك في مركب(Ferredoxin) المهم في عملية البناء الضوئي وعملية اختزال النترات إلى أمونيا.
المنجنيز	تحفيز الإنزيمات المتعلقة في تكوين الاحماض الدهنية. وفي تكوين الأحماض النووية وكذلك في إنزيمات التنفس، كما يدخل في عملية التركيب الضوئي.
البورون	يلعب دوراً مهماً في تكوين البروتينات، كما يساهم في نقل الكربوهيدرات ويدخل في العمليات الحيوية التي تؤدي إلى إشتراك امتصاص الكالسيوم والبوتاسيوم.
الخارصين	يشترك في تركيب بعض الإنزيمات مثل إنزيم (Carbonic anhydrase) وكذلك إنزيم (Alcohol dehydrogenase) وإنزيم (Carboxylase).
النحاس	يلعب دوراً مهماً في العمليات الحيوية، فهو يدخل في عملية الأكسدة والاختزال، كما أن له دوراً مهماً في عملية تثبيت النيتروجين.
الكوبلت	يعتبر أحد مكونات فيتامين(B_{12})، كما أنه مهم في عملية تثبيت النيتروجين.

(المصدر: محمد، ١٩٧٧م)

ووفرة العناصر المعدنية في القشرة الأرضية تعتمد على طبيعة التفاعلات التي تحدث للعنصر وأيضاً المركبات التي تدخل في تركيبها، فعلى سبيل المثال عنصر الحديد يأتي في المرتبة الرابعة من بين العناصر الموجودة في القشرة الأرضية من حيث الوفرة، حيث يبلغ متوسط تركيزه في القشرة الأرضية ٥٪ (Ehrlich, 1981). كما يشكل عنصر السليكون حوالي ٢٧,٧٪ من تركيب القشرة الأرضية، أما عنصر المنجنيز فيشكل حوالي ١٪ من تركيب القشرة الأرضية. في حين أن تركيز العناصر المعدنية في التربة يختلف من عنصر لآخر ومن موقع لآخر. فقد وجد على سبيل المثال أن تركيز عنصر الكبريت في بعض الترب يتراوح بين ١٠٠ إلى ١٥٠٠ جزء في المليون، كما أن متوسط تركيز عنصر النحاس في أنحاء مختلفة من العالم يتراوح بين ٦ إلى ٦٠ جزء في المليون، وقد وجد (Hashem,1990) أن تركيز عنصر النحاس لبعض ترب المملكة العربية السعودية يتراوح بين ٦ إلى ١٤ جزء في المليون. كما سجلت تراكيز عالية لعنصر الألومنيوم في أنحاء مختلفة من العالم (٤٠٠-٥٠٠٠) جزء في المليون في حين وجد (Hashem,1990) أن تركيز الألومنيوم لبعض مناطق المملكة العربية السعودية يتراوح بين ١٠ إلى ٢٠٠ ميكروجرام.

أما عنصر الزئبق فيعتبر ذا تركيز ضئيل في التربة فقد سجل بتركيز من (٤٠ إلى ٤٠٠) جزء في البليون، وكذلك عنصر البورون (٤٥ , ٠ - ٢٠) جزء في المليون و عنصر النيكل فقد سجل بمتوسط تركيز من ٥ إلى ٩٠ جزء في المليون (Kabata-Pendias and Pendias,1985) . وللعناصر المعدنية كما أسلفنا دورات (Cycles) في الطبيعة يتم فيها تحويل العناصر المعدنية من الصور العضوية إلى الصور اللاعضوية بواسطة العديد من الكائنات الحية الدقيقة، فعلى سبيل المثال فإن الكربون يتوافر في الغلاف الجوي على شكل ثاني أكسيد الكربون (CO_2) وهناك أيضاً ثاني أكسيد الكربون المذاب في مياه البحار والمحيطات، لذلك لا بد من وجود دورة خاصة لهذا العنصر في الطبيعة يتحول فيها جزء من هذا الكربون إلى مكونات الكائن الحي، وجزء آخر يعود مرة أخرى إلى الجو أو إلى البحار والمحيطات، ويطلق على هذه السلسلة من التحولات الكربونية دورة الكربون (Carbon cycle)، وهذا ينطبق على جميع العناصر المعدنية الأخرى.

كما تجب الإشارة إلى أن نقص تلك العناصر المعدنية يؤثر في العمليات البيولوجية التي تحدث في الطبيعة مثل عملية البناء الضوئي والتنفس، بالإضافة إلى أن زيادة تركيز تلك العناصر المعدنية أو بعض العناصر المعدنية الثقيلة (Heavy metals) يؤدي إلى آثار ضارة على بعض العمليات البيولوجية.

الفصل الخامس

امتصاص العناصر المعدنية بواسطة الكائنات الحية الدقيقة

كما هو معلوم فإن امتصاص العناصر المعدنية بواسطة الكائنات الحية الدقيقة يعتبر من أهم العوامل البيئية والتي تؤدي في النهاية إلى إتاحتها للنبات والحيوان.

وتمتاز الكائنات الحية الدقيقة بأنها ذات معدلات عالية في نموها، حيث تبلغ مدة الجيل للكثير من البكتيريا أقل من (٢٠) دقيقة وهذا بطبيعة الحال يحتاج إلى قدرة عالية لتكوين مكونات خلوية جديدة والذي يطلق عليه التمثيل الغذائي (Nutrient assimilation) وفي هذه العملية يقوم الكائن الحي الدقيق بامتصاص العناصر المعدنية والتخلص من المخلفات الناتجة وهذه تتم على سطح الخلية.

توجد العناصر المعدنية في الكائنات الحية الدقيقة في صور مختلفة من المركبات العضوية وغير العضوية، كما أن لها دوراً فسيولوجياً مهم في العمليات المهمة والمتعلقة بالتمثيل الغذائي للخلية الميكروبية وتراكم الطاقة اللازمة للأنشطة المختلفة.

وتقوم الكائنات الحية الدقيقة بالعديد من التحولات المختلفة للعناصر المعدنية كالآتي:

١- التأثير على ذوبان المركبات المعدنية غير العضوية بإفراز بعض الأحماض العضوية.

٢- معدنة المركبات العضوية.

٣- القيام بعمليات الأكسدة والاختزال للمركبات غير العضوية .

٤- تحويل الأيونات المعدنية غير الميسرة إلى مكونات الخلية .

وتقوم الكائنات الحية الدقيقة بامتصاص العناصر المعدنية للتزود بما تحتاجه من عناصر معدنية في العمليات الفسيولوجية المختلفة والتي يطلق عليها اسم المعدنة (Mineralization) وفيها يتحول العنصر المعدني إلى صورة ميسرة ومتاحة من المادة العضوية .

لكن قبل دراسة تمثيل الكائنات الحية الدقيقة للعناصر المعدنية لا بد من إلقاءالضوء على آلية امتصاص العنصر المعدني المغذي .

لقد كانت هناك العديد من الدراسات التي وضعت لفهم تلك الآلية . وتلك المحاولات التي وضعت من قبل الباحثين كانت تعتمد في الدرجة الأولى على دراسة علاقة العناصر المعدنية بالتربة والخواص الفيزيائية والكيميائية لها والتركيب الخلوي للخلية الميكروبية .

ومن أهم النظريات التي وضعت في مجال امتصاص العناصر المعدنية نظرية الامتصاص غير الحيوي (Passive absorption) تلك العملية لاتحتاج إلى طاقة وأن تبادل الأيونات يحدث في الجدار الخلوي وخارج البروتوبلازم (Kramer, 1969) ، كما أن الامتصاص قد يحدث بطريقة الانتشار (Diffusion) وهو عبارة عن مرور العناصر المعدنية المغذية من الوسط الأكثر تركيزاً إلى الوسط الأقل تركيزاً ، كما أن الامتصاص غير الحيوي قد يكون بواسطة تبادل الأيونات بطريقة الامتصاص والادمصاص (Absorption and adsorption) وفيه تمر الأيونات السالبة والموجبة الموجودة في محلول التربة إلى داخل الخلايا أو ما بين الخلايا وتحل محل أيونات سالبة وموجبة أخرى بصورة متكافئة .

كما أن الامتصاص النشط (Active absorption) يعتبر من أهم العمليات الحيوية الفسيولوجية لامتصاص العنصر المغذي ، فغشاء الخلية له قابلية على تمييز الأيونات المختلفة واللازمة للنمو الميكروبي فيسمح بمرور بعضها ويمنع مرور الأخرى ، وعليه فإن غشاء الخلية الميكروبية له قدرة على اختيار أيونات العناصر المعدنية وكذلك نوعيتها (النخال ، ١٩٨٧م) .

تجب الإشارة هنا إلى عملية التضاد (Antagonsim) والتي تتأثر فيها بعض العناصر المعدنية بوجود عناصر أخرى ذات أثر ضار على امتصاصها بواسطة الغشاء الخلوي الميكروبي.

فعلى سبيل المثال وجد (محمد، ١٩٧٧م) الصوديوم والبوتاسيوم لا يتنافسان بشدة كتنافس الصوديوم والكالسيوم أو البوتاسيوم والباريوم وعليه فإن تجمع الأيونات المختلفة في الغشاء الخلوي للكائن الحي الدقيق يختلف باختلاف الأنواع المختلفة من الكائنات الحية الدقيقة كما أن عملية تبادل الكاتيونات (Cation exchange) تعتبر من العمليات المهمة لحدوث الاتزان بين الأيونات الذائبة والمتبادلة وتتم هذه العملية في محلول التربة.

تتأثر عمليات امتصاص العناصر المعدنية المغذية مثل غيرها من العمليات الحيوية بالعديد من العوامل البيئية مثل درجة الحرارة ووجود بعض المواد السامة، كما أنها تحتاج إلى طاقة لدفع الأيونات إلى داخل الخلية كما وجد أن هناك ميكانيكية خاصة يطلق عليها الالتهام الحوصلي (Pinocytosis) والتي يستطيع بها الكائن الحي الدقيق إفراز بعض الإنزيمات الخاصة لامتصاص العناصر المغذية وفيها تستطيع الأغشية الخلوية امتصاص المركبات المغذية ذات الأوزان الجزيئية العالية (محمد، ١٩٧٧م).

أثبتت الأبحاث الحديثة في مجال امتصاص العناصر المعدنية بواسطة الفطر الجذري (Mycorrhiza) أن لتلك الكائنات الحية الدقيقة قدرة هائلة على تحمل التراكيز العالية من بعض العناصر المعدنية السامة مثل النحاس والألومنيوم والخارصين. فقد وجد (Hashem, 1987) أن الفطرة *Hymenoscyphus ericae* والفطرة *Amanita muscaria* ذات قدرة هائلة على تحمل التراكيز العالية من عنصر الألمنيوم والنحاس والخارصين كما أنها تساعد على نمو بعض النباتات مثل نبات الصنوبر *Pinus* وتجنبه الأثر السام لتلك العناصر. وتوفر للنباتات طبقة سميكة من الخيوط الفطرية والغزل الفطري حول جذور النبات وقد سميت تلك الميكانيكية بإزالة الأثر السام (Detoxification) (Bradley *et al.*, 1982) وفيه يستطيع الكائن الحي الدقيق تقليل الأثر السام للعنصر المعدني وإتاحة الفرصة للنبات للنمو في التراكيز العالية منه. كما

وجد كلاً من (Duddridge and Read, 1982) أن الصفيحة الوسطى لبعض الجذر فطريات مكونة من مادة البكتين (Pectin) والتي وجد أنها مادة مهمة في الارتباط مع العناصر المعدنية مما يقلل أثرها السام.

وبناءعلى ما سبق يمكن اعتبار أن الغشاء الخلوي (Cell membrane) يتحكم بدرجة كبيرة في مرور المغذيات المعدنية، وعموماً فإن مرورها خلال الغشاء الخلوي يمكن أن يحدث بواسطة الانتشار الانسيابي (Passive diffusion) وفيه تنساب العناصر المعدنية من الوسط الاكثر تركيزاً إلى الوسط الأقل تركيزاً أو بواسطة الانتشار المدعم (Facilitated diffusion) وهذا يتم بواسطة ناقلات بروتينية خاصة تسمى بيرميزات (Permeases)، كما أن العناصر المعدنية يمكن نقلها بواسطة النقل النشط (Active transport) وهذا يتضمن دخول عناصر مغذية من تركيز منخفض خارج الخلية إلى تركيز أعلى داخل الخلية، وأيضاً هناك بروتينات الارتباط (Binding proteins) التي سجلت في بعض الأنواع البكتيرية السالبة لصبغة جرام (Gram negative) والتي توجد في الحيز الموجود بين الغشاء الخلوي وطبقات الجدار الخلوي الخارجية، كما أن بعض الأنواع البكتيرية تحتوي علاوة على النقل النشط نظاماً آخر للنقل يشمل إحداث تغيير كيميائي في المادة أثناء نقلها عبر الغشاء ويسمى بنظام النقل المصحوب بالتغير الكيميائي (Group translocation) فعلى سبيل المثال فإن الفوسفوترانسفريز (Phosphoto transferase) وهو إنزيم يعمل على نقل عدد من السكريات ومشتقاتها من خارج الخلية وعندما تصل هذه السكريات إلى داخل الخلية تصبح سكريات مفسفرة (Phosphorylated Sugars) (النخال، ١٩٨٧م).

وتلعب نظم نقل العناصر المغذية السابق ذكرها دوراً أساسياً في الحفاظ على تركيز داخلي لكل العناصر المغذية وتأمين الطاقة وبناء مكونات الخلية والعمل على تنظيم الضغط الأسموزي.

كما تستطيع بعض الكائنات الحية الدقيقة امتصاص بعض العناصر المعدنية السابقة وتمثيلها داخل البروتوبلازم الخلوي باستخدام العديد من طرق المقاومة الميكانيكية والتي منها على سبيل المثال :

١ - وجد أن الفطرة *Poria vaillantii* تستطيع ترسيب النحاس على هيئة كبريتات غير ذائبة في الجدار الخلوي مع انطلاق كبريتيد الهيدروجين (H_2S) (Levi, 1969) .

٢ - تستطيع بعض الفطريات مثل الفطرة *Neurospora crassa* مراكمة التراكيز العالية من عنصر النحاس بواسطة جراثيمها الفطرية (Somers, 1963) .

٣ - تقوم بعض الفطريات مثل الفطرة *Aspergillus niger* بإنتاج بعض المركبات العضوية والأحماض مثل حمض الأوكساليك (Oxalic) والذي يعمل على ترسيب النحاس في صورة بللورات الأوكسالات (Ashworth and Amin, 1964) .

٤ - تعمل بعض الفطريات ومنها *Auerobasidium pullulans* على إنتاج صبغ الميلانين (Melanin) والذي يستحث نشاط إنزيم (Tyrosin-oxidase) المهم في تحولات عنصر النحاس (Gadd and Griffiths, 1980) .

والمغذيات المعدنية تعتبر من أهم المتطلبات الضرورية للكائن الحي الدقيق لبناء تركيبه الخلوي واحتياجه من الطاقة وقد أمكن باستخدام المنابت الصناعية ملاحظة الأثر الفعال لهذه العناصر المعدنية والاحتياج الميكروبي لها، وقدرة الكائن الحي الدقيق على إفراز العديد من الإنزيمات والتي تساعد على الاستفادة من تلك العناصر المعدنية.

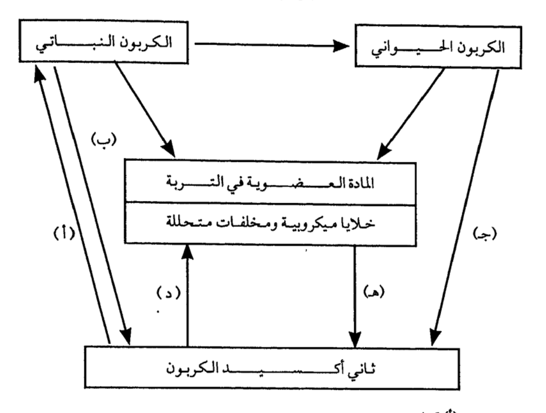
فعلى سبيل المثال يعتبر عنصرا الكربون والنتروجين من العناصر الضرورية لنمو الكائن الحي الدقيق والتي يحصل عليهما من مصادر عضوية مختلفة. فعنصر الكربون مهم في التفاعلات الحيوية المحررة للطاقة والبناء الخلوي للكائن الحي الدقيق. وتستطيع العديد من الكائنات الحية الدقيقة تمثيل المركبات الكربوهيدراتية للحصول على الكربون، أما النتروجين فهو يدخل في التراكيب المتعددة لخلية الكائن الحي الدقيق، كما يدخل في تركيب الأحماض الأمينية والبروتينات وبعض الفيتامينات. ومصادر النتروجين قد تكون مركبات عضوية أو غير عضوية يستطيع الكائن الحي الدقيق أن يقوم بعملية تسمى التمثيل (Assimilation) للاستفادة من النتروجين الموجود فيها.

الفصل السادس

التحولات الميكروبية لعنصر الكربون

يعتبر عنصر الكربون من العناصر المهمة التي يحتاجها الكائن الحي الدقيق بكميات كبيرة لأنه يدخل في بناء التركيب الخلوي للخلية الميكروبية ويتوفر في الغلاف الجوي على هيئة ثاني أكسيد الكربون (CO_2) ويوجد أيضاً مذاباً في مياه البحار والمحيطات. تلعب الكائنات الحية الدقيقة دوراً رئيسياً في عمليات التحلل المختلفة للإنسان والحيوان والنبات. وحتى يمكن فهم الخطوات الأساسية حول تثبيت ثاني أكسيد الكربون وإعادة استخدامه بواسطة الكائنات الحية الدقيقة لا بد من فهم ودراسة دورة الكربون (الشكل رقم ١). ومن تلك الدورة نجد أن الكربون الموجود في خلايا الحيوان والنبات لا بد وأن يتحلل ليتحول جزء كبير من نواتج هذا التحلل على هيئة ثاني أكسيد الكربون وينطلق جزء من هذا الغاز الى الهواء الجوي لضمان استمرار حياة الكائنات الحية الأخرى وهذا بالطبع يعوض الجزءالمفقود من ثاني أكسيد الكربون باستمرار مما يؤدي إلى حدوث الاتزان البيئي لغاز ثاني أكسيد الكربون.

وقد وجد أن المحتوى الخلوي لبعض الكائنات الحية الدقيقة من الكربون يصل إلى حوالي (٥٠٪) كربون. تستطيع تلك الكائنات الحية الدقيقة الحصول عليه من الوسط ا لبيئي الذي تنمو عليه. ويطلق على هذه العملية تمثيل الكربون (Carbon assimilation). وتحت الظروف الهوائية فإن الكائنات الحية الدقيقة تمثل (٢٠-٤٠٪)



(أ) تمثيل ضوئي
(ب) تنفس النبات
(جـ) تنفس الحيوان
(د) الميكروبات ذاتية التغذية
(هـ) تنفس الكائنات الحية الدقيقة

الشكل رقم (١). دورة الكربون. (المصدر : الكسندر، ١٩٨٢م)

من كربون المادة العضوية. كما أن الفطريات تعتبر من أكثر الكائنات الحية الدقيقة كفاءة في تمثيل الكربون العضوي تحت الظروف الهوائية فتمثل (٣٠-٤٠٪) من كربون المادة العضوية، أما البكتيريا تحت الظروف الهوائية فتمثل (٥-١٠٪)، والبكتيريا اللاهوائية فتمثل فقط (٢-٥٪) من كربون المادة العضوية (محمود وآخرون، ١٩٨٨م).

ومن دورة الكربون في الطبيعة نجد أن عمليات التنفس والتمثيل الغذائي للكائنات الحية بالإضافة الى قدرة الكائنات الحية الدقيقة على تحليل المخلفات

المختلفة لأنسجة الحيوان والنبات تؤدي إلى تحويل المركبات العضوية إلى ثاني أكسيد الكربون وماء.

هناك بعض الكائنات الحية الدقيقة والتي تحتاج لنموها إلى بعض المصادر الكربونية مثل السكريات وبعض الأحماض العضوية، كما أن هناك بعض الكائنات الحية الدقيقة والتي تستطيع أن تنمو في وجود التراكيز الضئيلة من عنصر الكربون العضوي.

وكما أسلفنا فإن تحلل المركبات العضوية هو إحدى الوظائف المهمة التي تقوم بها الكائنات الحية الدقيقة والتي منها يتكون ثاني أكسيد الكربون اللازم لعملية البناء الضوئي (Photosynthesis)، وهناك العديد من المركبات العضوية التي تقوم بتحليلها الكائنات الحية الدقيقة مثل السكريات الأحادية والثنائية والعديدة والمركبات الهيدروكربونية والأحماض الأمينية واللبيدات. كما يمكن لبعض الكائنات الحية الدقيقة ترسيب كربونات الكالسيوم ($CaCo_3$) كما تقوم بتحليله للاستفادة منه كمصدر للكربون ومنها: *Proteus vulgaris, Bacillus mycoides, Bacillus salinus, Actinomyces albus, Acetabularia* spp., *Chara* spp., *Lithothamnion* spp., *Scytonema* spp. (Ehrlich, 1981).

وعموماً فإن الكربونات توجد أيضاً في صورة متحدة مع المغنيسيوم والحديد في الطبيعة كما توجد في صورة كربونات الصوديوم، ويحتاج الكائن الحي الدقيق إلى ميكانيكية خاصة للاستفادة من تلك المركبات للحصول على الكربون. وعليه فإن تلك المركبات قد تتحلل مباشرة بالطرق البيولوجية وطرق التعرية المعروفة، كما يمكن أن تتحلل في وجود المحاليل الحامضية كالتالي:

$$CaCO_3 + H^+ \longrightarrow Ca^{2+} + HCO_3$$

$$HCO_3 + H^+ \longrightarrow H_2CO_3$$

$$H_2CO_3 \longrightarrow H_2O + CO_2$$

وهذه الطريقة تؤدي الى زيادة ثاني أكسيد الكربون باستمرار.

وتعتمد تلك الطريقة على مدى ما يفرزه الكائن الحي الدقيق من أحماض عضوية والتي تعمل على إذابة الكربونات. كما أن عمليات التنفس للكائنات الحية

مثل بعض النباتات والتي تعمل على إطلاق غاز ثاني أكسيد الكربون ليتحد مع الماء مكوناً حمض الكربونيك كالتالي:

$$CO_2 + H_2O \longrightarrow H_2CO_3$$

$$H_2CO_3 + CaCO_3 \longrightarrow Ca + 2HCO_3$$

كما أن هناك بعض الأنواع البكتيرية ذات قدرة على هضم وتحليل الحجر الجيري (Limestone) ومنها: *Bacillus megaterium, Bacillus mesentericus* (Ehrlich, 1981).

لكن يجب الأخذ في الاعتبار أن هناك العديد من العوامل البيئية المصاحبة والملازمة للنشاط الميكروبي عند تحلل المركبات العضوية وانطلاق ثاني أكسيد الكربون، فدرجةالحرارة والرطوبة والرقم الهيدروجيني من أهم العوامل المؤثرة على تحلل المادة العضوية.

تحتوي النباتات على العديد من المركبات العضوية مثل السليلوز والهيمسليلوز واللجنين والسكريات العديدة مثل النشا والمواد البكتينية والانيولين والكيتين وهذه تتعرض باستمرار إلى المهاجمة بواسطة العديد من الكائنات الحية الدقيقة والتي تعمل على تحللها وانطلاق كربونها.

وقد أورد (الكسندر، ١٩٨٢م) أن هناك أنواعاً كثيرة من الكائنات الحية الدقيقة لها القدرة على تحليل المركبات العضوية المختلفة في النبات ومنها الأنواع التابعة لأجناس:

Clostridium, Bacillus, Pseudomonas, Aspergillus, Fusarium, Penicillium, Nocardia, Arthrobacter, Flavobacterium, Trichoderma.

أما في مجال التحولات الميكروبية للمركبات الهيدروكربونية، فللكائنات الحية الدقيقة دور بارز ونشط في هذا المجال. والمركبات الهيدروكربونية بالإضافة إلى تواجدها في النفط ومشتقاته فإنها قد دخلت في تركيب العديد من مبيدات الكائنات الحية الدقيقة مثل مبيدات الفطريات وأيضاً مبيدات الحشائش الضارة والحشرات.

وعليه فإن تحلل المركبات الهيدروكربونية بواسطة الكائنات الحية الدقيقة ذو أهمية في إضافة كميات وفيرة من ثاني أكسيد الكربون. ويعتبر غاز الميثان (CH_4) من أهم النواتج الأساسية لتحلل المركبات العضوية تحت الظروف اللاهوائية بالإضافة إلى تصاعد غاز ثاني أكسيد الكربون، كما تتكون كميات وفيرة من غاز الميثان خلال عمليات التحلل اللاهوائي للمركبات الكربونية، كما أن (الكسندر، ١٩٨٢م) أورد العديد من الكائنات الحية الدقيقة النشطة في مجال تحلل المركبات الهيدروكربونية والمنتجة لغاز الميثان نذكر منها على سبيل المثال بكتيريا *Methanobacterium, Methanosarcina, Methanospirillum*.

بالإضافة إلى ما سبق فإن هناك العديد من المركبات المختلفة والتي تحتوي على الكربون وتستطيع العديد من الكائنات الحية الدقيقة تحليلها ومن ذلك بعض الأحماض الدهنية حيث تستطيع بعض الكائنات الحية الدقيقة أكسدة تلك الأحماض الدهنية ومنها على سبيل المثال لا الحصر البكتيريا *Clostridium kluyverii* (طه، ١٩٧١م).

تستطيع العديد من الكائنات الحية الدقيقة أكسدة العديد من المركبات الأليفاتية (Aliphatic compounds) مثل البروبان والبيوتان والكيروسين والمطاط وينتج عن تحللها انطلاق كميات وفيرة من الكربون. تستطيع العديد من الكائنات الحية الدقيقة النمو على المركبات العطرية (Aromatic compounds) وتحليلها الى مركبات أبسط مع انطلاق غاز ثاني أكسيد الكربون ومنها بعض الأنواع التابعة لأجناس *Bacillus, Pseudomonas, Arthrobacter* (محمودوآخرون ١٩٨٨م).

وعموماً فإن العمليات البيولوجية المختلفة التي تقوم بها الكائنات الحية الدقيقة تساهم بشكل فعال في إحداث التوازن البيئي وهذا بدوره يؤدي إلى الحفاظ على النظام البيئي (Ecosystem) الذي تعيش فيه جميع الكائنات الحية.

وكما هو معلوم فإن الكائنات الحية الدقيقة تحتاج أثناء نموها إلى الطاقة والتي تستمدها عن طريق الأكسدة الحيوية للعديد من المركبات العضوية وغير العضوية،

ففي الكائنات الحية الدقيقة الهوائية غير ذاتية التغذية يمكن التعبير عن ذلك بالمعادلة الآتية :

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \text{energy}$$

أما بالنسبة للميكروبات الهوائية ذاتية التغذية فتكون كالتالي :

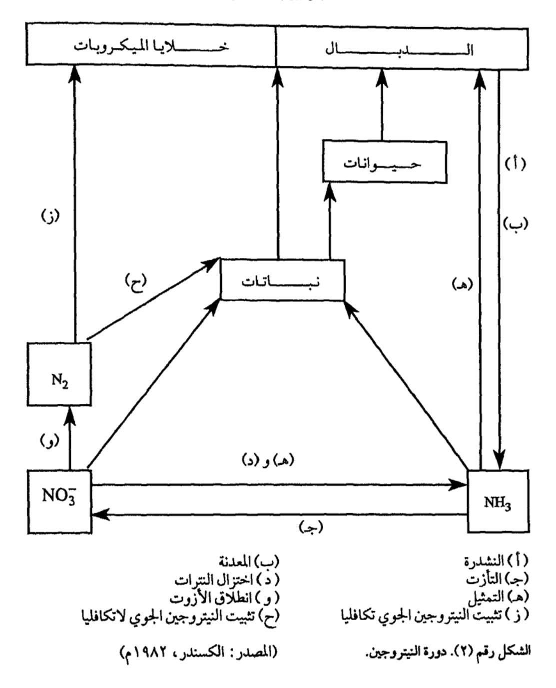
$$2NH_4Cl + 3O_2 \longrightarrow 2HNO_2 + 2H_2O + 2HCl + \text{energy}$$

وعليه فإن تحويل الجلوكوز ($C_6H_{12}O_6$) إلى CO_2 أو تحويل النشادر (NH_4) إلى نتريت (NO_2^-) ينتج عنها كمية وفيرة من الطاقة (الكسندر، ١٩٨٢م) .

الفصل السابع

التحولات الميكروبية لعنصر النيتروجين

يعد عنصر النيتروجين من العناصر الضرورية التي تحتاجها جميع الكائنات الحية. ونتيجة للاستهلاك المستمر لهذا العنصر في جميع العمليات الحيوية للكائن الحي كان لا بد من تعويض النقص في هذاالعنصر باستمرار. وغاز النيتروجين كما هو معلوم يتوفر على هيئة النيتروجين الجزيئي (N_2)مكوناً حوالي (٨٠٪) من حجم هواء الغلاف الجوي للأرض، إلا أنه غاز خامل كيميائياً وغير مناسب كمصدر نيتروجيني، لذا لا بد من ارتباطه أو تثبيته حتى يصبح مصدراً نيتروجينياً مناسباً للكائن الحي. وعند دراسة دورة النيتروجين (الشكل رقم٢) يتضح بصورة جلية دور الكائنات الحية الدقيقة في هذه الدورة. وكما هو معلوم فإنه يدخل في تكوين البروتينات، وهومهم بالنسبة لخصوبة التربة ويضاف النيتروجين إلى التربة إما في صورة غير عضوية على هيئة الأسمدة والمخصبات الأزوتية أو في صورة عضوية وهذه تشمل بقايا الحيوانات والنباتات المتحللة وروث الحيوانات. وحتى يمكن الاستفادة من الصور المختلفة لهذا العنصر لا بد من معدنة النيتروجين العضوي (Mineralization) حيث يتحلل من هذه المعدنة النيتروجين العضوي وتنطلق الأمونيا وهذه العملية تسمى النشدرة (Ammonification) ثم أن الأمونيا المتكونة تتعرض للأكسدة البيولوجية في عملية يطلق عليه اسم النيترة (Nitrification) وعليه فان الأمونيا والنترات تمثلان الصورة الرئيسة في تغذية النبات. والتربة الزراعية تحتوي



(أ) النشدرة
(ب) المعدنة
(جـ) التأزت
(د) اختزال النترات
(هـ) التمثيل
(و) انطلاق الأزوت
(ز) تثبيت النيتروجين الجوي تكافليا
(ح) تثبيت النيتروجين الجوي لاتكافليا

الشكل رقم (٢). دورة النيتروجين. (المصدر: الكسندر، ١٩٨٢م)

على أعداد هائلة من الكائنات الحية الدقيقة القادرة على تحليل المركبات النيتروجينية العضوية منها البكتيريا الهوائية واللاهوائية والهوائية الاختيارية وبعض الفطريات والاكتينومايستس ومن أمثلتها : *Bacillus subtilis, Pseudomonas* spp., *Arthrobacter*.,

Sreptomyces spp., *Aspergillus,* spp. *Clostridium* spp. *sporogenes,* spp. *Penicillium* spp., *Rhizopus* spp. (الكسندر، ١٩٨٢م).

وهناك العديد من العوامل البيئية التي تؤثر بشكل مباشر على تحلل المركبات النيتروجينية العضوية والتي منها على سبيل المثال محتوى التربة من المركبات العضوية والرطوبة والتهوية كما أن الرقم الهيدروجيني للتربة (pH) ذو أثر بالغ على تحلل تلك المركبات النيتروجينية العضوية وعليه فإن معدل التحلل يكون سريعاً في الأراضي المتعادلة كما يقل هذا المعدل في الأراضي الحامضية. وعند ٤°م تكون معدل التحلل بطيئة وتزداد بزيادة درجة الحرارة (٣٠-٥٠°م). كما تعد دراسة العوامل المؤثرة على عمليات تحلل المواد النيتروجينية العضوية من الأمور الصعبة لاختلاف الخواص الكيموحيوية للكائنات الحية الدقيقة، فعمليات المعدنة على سبيل المثال تحدث باستمرار ودون انقطاع لقيام جميع الميكروبات الهوائية واللاهوائية والحساسة للحموضة والمقاومة لها والمتجرثمة وغير المتجرثمة في عمليات تحلل المركبات النيتروجينية، ولكن تتأثر معدلات حدوثها ببعض العوامل البيئية مثل الرطوبة والتهوية والحرارة وتفاعل التربة ومحتوى النيتروجين الكلي.

فقد لوحظ في المناطق الجافة وشبه الجافة والمناطق التي تتعرض لاختلافات في الرطوبة والجفاف أن استئناف سقوط الأمطار يتبعه زيادة سريعة في عملية المعدنة. كما أن الأراضي النشطة في عملية المعدنة تحت الظروف الهوائية تكوّن الأمونيا في غياب الأكسجين في حين أن الأراضي البطيئة في مثل هذه العملية في ظل الظروف الهوائية تقوم بإنتاج الأمونيا ببطء واضح تحت الظروف اللاهوائية. وتؤثر درجات الحرارة على عمليات المعدنة، فعند درجة حرارة (٢°م) تقوم الميكروبات بمعدنة المواد العضوية النيتروجينية ببطء في حين لا يلاحظ إنتاج للأمونيا أو النترات عند درجة التجمد. كما أن عملية النشدرة ذات درجة حرارة مثلى بين (٤٠ - ٦٠°م) وتتراكم الأمونيا في أكوام الأسمدة العضوية عند درجة حرارة (٦٥°م) (الكسندر، ١٩٨٢م).

وعليه فان للعوامل البيئية دوراً مهماً في عمليات تحلل المركبات النيتروجينية العضوية وهذا يؤثر بشكل مباشر على نشاط الكائنات الحية الدقيقة وقدرتها على

تحليل تلك المركبات، كما تجب الإشارة إلى أن نسبة الكربون إلى النيتروجين تعتبر أيضاً من أهم العوامل المؤثرة على تحلل المركبات النيتروجينية العضوية بواسطة الكائنات الحية الدقيقة، وعموماً فإن البكتيريا الموجودة في وسط بيئي لعدد من الكائنات الحية الدقيقة تمثل (٥-١٠٪) من كربون المادة العضوية، بينما تمثل الفطريات حوالي (٣٠-٤٠٪) أما الأكتينوميسيتات فتمثل (١٥-٣٠٪)، في حين يبلغ محتوى بروتوبلازم الخلايا من الكربون (٤٥-٥٠٪) من وزنها الجاف، كما يمكن القول أنه يلزم لتحليل (١٠٠) وحدة كربون من المادة العضوية توفر (١-٢) و(٣-٤) و(٣-٦) وحدات من النيتروجين في حالة البكتيريا والفطريات والأكتينوميسيتات على التوالي (الكسندر، ١٩٨٢م).

وكما هو معلوم فإن معدنة المواد النيتروجينية العضوية بواسطة الكائنات الحية الدقيقة تكتسب أهمية خاصة لأن النبات يستخدم أشكالاً مختلفة من النيتروجين في صورة غير عضوية مثل أيونات الأمونيوم (NH_4^+) والنترات(NH_4^+) بالإضافة إلى النتريت (NO_2) في التراكيز المنخفضة. وهناك العديد من الأبحاث التي أوضحت قدرة العديد من الكائنات الحية الدقيقة على معدنة مركبات النيتروجين العضوية وتحويلها إلى الصورة غير العضوية، ولكن تلك الكائنات الحية الدقيقة تختلف في معدل التحلل للمركبات النيتروجينية العضوية وكمياتها باختلاف العوامل البيئية. ومن أهم الكائنات الحية الدقيقة التي تعمل على تحليل البروتينات ما يلي: *Pseudomonas* spp., *Bacillus* spp., *Clostridium* spp., *Aspergillus* spp., *Alternaria* spp., *Mucor* spp. كما ذكر (الكسندر، ١٩٨٢م) أن هناك بعض الكائنات الحية الدقيقة النشطة التي تقوم بتحليل الأحماض الأمينية ومنها: *Mycobacterium* spp., *Cephalosporium* spp., *Rhizopus* spp., *Fusarium* spp., *Cladosporium* spp. كما تقوم مجموعة كبيرة من الكائنات الحية الدقيقة بإفراز إنزيمات خارجية خاصة تعمل على تحلل البروتين وتسمى إنزيمات البروتييز (Proteases). أما اليوريا فهي تمتاز بارتفاع نسبة محتواها من النيتروجين وهي تتكون في التربة كناتج لتحلل الحموض النووية كما تضاف إلى التربة من مخلفات الحيوانات كسماد وقد أورد (محمود وآخرون، ١٩٨٨م) العديد من الكائنات الحية الدقيقة النشطة في مجال تحلل اليوريا وانطلاق

النيتروجين نتيجة لإفرازها لإنزيم اليورييز (Urease) ومن أهم تلك الكائنات ما يلي : *Bacillus* spp., *Micrococcus* spp., *Pseudomonas* spp., *Klebsiella* spp. *Corynebacterium* spp., *Clostridium* spp. . بالإضافة إلى ذلك فإن هناك مجموعة أخرى من البكتيريا تستطيع تحليل اليوريا ويطلق عليها بكتيريا اليوريا (Urea bacteria) ومنها : *Bacillus pasteurii, Bacillus sphaericus, Micrococcus urea* . كما أن عملية النيترة (Nirification) والتي تتم بأكسدة الأمونيا أثناء تحلل المركبات العضوية النيتروجينية إلى نتريت ثم إلى نترات بواسطة نشاط مجموعة من الكائنات الحية الدقيقة والتي يطلق عليها بكتيريا النيترة (Nitrifying Bacteria) ينتج عنها إضافة كميات كبيرة من النيتروجين، وقد أورد (الكسندر، ١٩٨٢م) بعض أجناس الكائنات الحية الدقيقة النشطة في هذاالمجال ومنها : *Nitrosomonas, Nitrobacter* , *Nitrosococcus* , *Nitrospora* .

وبالنظر إلى دورة النيتروجين في الطبيعة نجد أن عمليات تثبيت النيتروجين الجوي لا تكافلياً (Non-symbiotic nitrogen fixation) من أهم العمليات المهمة في تعويض النقص في فقد هذا العنصر، وهناك العديد من الكائنات الحية الدقيقة ذات القدرة على تثبيت النيتروجين الجوي لاتكافلياً ويأتي في مقدمتها : *Azomonas* spp., *Azotobacter* spp., *Bacillus* spp., *Spirillum* spp., *Chromatium* spp., *Anabaena* spp., *Oscillatoria* spp., *Scytonema* spp., *Chlorobium* spp.، ووجد أيضاً أن هناك بعض الأشنات مثل : *Collema* , *Lichina* , *Peltigera* ذات قدرة عالية على تثبيت النيتروجين الجوي، ذلك لأن تعايش الفطر مع البكتيريا الخضراء المزرقة لتكوين الأشنة يؤدي إلى عمليات ثتبيت نيتروجين الهواء الجوي لا تكافلياً (الكسندر، ١٩٨٢م).

كما يجب عدم إغفال العوامل البيئية التي تؤثر بشكل مباشرعلى قدرة بعض الكائنات الحية الدقيقة على تثبيت النيتروجين الجوي لا تكافلياً، فقد وجد أن نسبة الكربون إلى النيتروجين ذات أثر مهم، فالنسبة العالية تساعد بشكل كبير في زيادة الكم النيتروجيني المثبت، كما أن زيادة حموضة التربة تؤدي إلى الإقلال من النشاط الميكروبي (أقل من أس هيدروجيني ٥). كما تتحكم رطوبة التربة في معدل تثبيت النيتروجين الجوي ويزداد المعدل بزيادة الرطوبة.

يؤثر مدى وفرة المادة العضوية ودرجات الحرارة تأثيراً واضحاً على النشاط الميكروبي في مدى إتاحة النيتروجين المثبت، حيث تقل عند درجات الحرارة المنخفضة وينشط عند درجات الحرارة المعتدلة (٢٥-٣٥°م).

أما تثبيت النيتروجين الجوي تكافلياً فهو عبارة عن علاقة تكافلية بين الأنواع المتخصصة من الكائنات الحية الدقيقة وبالذات جنس البكتيريا (*Rhizobium*) وبعض النباتات البقولية (Leguminous plants) حيث تستطيع تلك البكتيريا مهاجمة أنسجة جذر النبات عن طريق الشعيرات الجذرية (Root hairs) ثم تتكاثر وتزداد تعداداتها وتكبر في الحجم ويتغير شكلها داخل أنسجة النبات مكونة عقداً (Nodules)، كل عقدة تحتوي على أعداد كبيرة من الخلايا البكتيرية (ابن صادق، ١٩٩٥م).

كما أن هناك علاقة بين بعض الأكتينوميسيتات وبعض النباتات غير البقولية بالإضافة إلى وجود تكافل بين بعض الطحالب الخضراء وبعض النباتات معراة البذور، وتكمن أهمية تلك العلاقة في تثبيت النيتروجين الجوي والإمداد بعنصر النيتروجين المهم في خصوبة التربة وتغذية النبات.

وعملية التكافل بين جنس البكتيريا (*Rhizobium*) وأي نبات بقولي مثل البرسيم الحجازي *Medicago sativa* لا بد وأن يساهم فيها النبات بإفراز بعض الإنزيمات والتي تساعد على حث البكتيريا على مهاجمة أنسجة النبات العائل، وهذا الأنزيم يسمى (Polygalacturonase) كما أن القمة النامية في النبات تفرز مادة سكرية تسمى (Callose) لتساعد على نمو البكتيريا، وبالمقابل فإن بذور النبات العائل تفرز مواد تسمى (Lectins) وهي عبارة عن مواد بروتينية تعطي فرصة للسكريات التي تفرزها البكتيريا للارتباط بجذور النبات العائل وبذلك تلتصق البكتيريا بسطح النبات العائل (محمود وآخرون، ١٩٨٨م).

بعض الفطر الجذري (Mycorrhiza) ذات قدرة على امتصاص الأحماض الأمينية والاستفادة منها كمصدر نيتروجيني، فقد وجد (Abuzinadah and Read, 1988) أن الجذر الفطريات التالية: *Suillus bovinus, Amanita muscaria* and *Hebeloma crustuliniformme* ذات قدرة على امتصاص العديد من الأحماض الأمينية

كمصدر نيتروجيني ومنها : Aspartic acid, Arginine , Alanine , leucine, Serine, Valine. وهذا يدل على أهمية الكائنات الحية الدقيقة في التحولات المختلفة التي تحدث في الطبيعة للمركبات النيتروجينية .

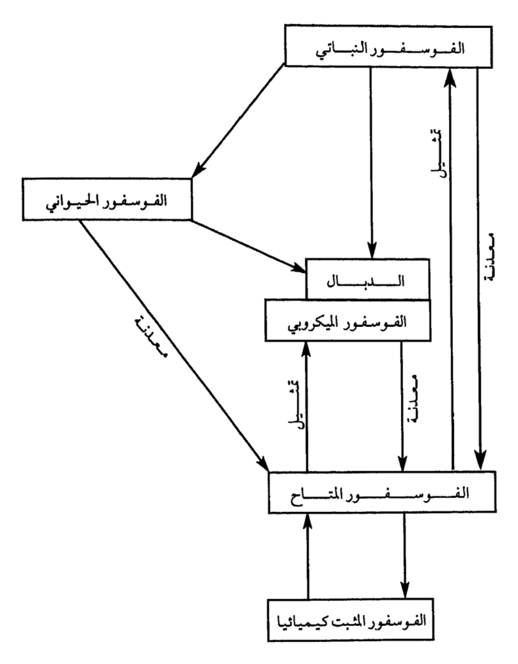
كما تتضح أهمية هذه العلاقة في التربة الحامضية ، حيث تستطيع العديد من الفطر الجذري الاستفادة من الأحماض الأمينية كمصادر للنيتروجين (Read and Bajwa, 1985) . كماوجد (Bajwa and Read, 1986) أن الفطرة *Hymenoscyphus ericaea* ذات قدرة على امتصاص معظم الأحماض الأمينية واستخدامها كمصدر للنيتروجين .

من السابق يتضح أن للكائنات الحية الدقيقة دوراً رئيسياً في معظم التفاعلات الحيوية التي تحدث في الطبيعة والتي أمكن التعبير عنها في شكل دورة والتي ينتج عنها الإمداد المستمر لتعويض النقص في هذا العنصر ، كما أن نقص هذا العنصر سوف يؤدي إلى نقص المحصول النباتي وقلة خصوبة التربة .

الفصل الثامن

التحولات الميكروبية لعنصر الفوسفور

عنصر الفوسفور من العناصر المهمة في العمليات الفسيولوجية المختلفة في دورة حياة الكائنات الحية الدقيقة وبالذات تلك المتصلة باختزان وانطلاق الطاقة والمصاحبة للتمثيل الغذائي. ويمكن التعويض في نقص هذا العنصر عن طريق تسميد التربة الزراعية بمخلفات وروث الحيوانات وبقايا النباتات المتحللة، وأيضاً بإضافة الأسمدة الكيميائية، وعموماً فإن الفوسفور يوجد في التربة على هيئة فوسفور عضوي في بقايا أنسجة النباتات والحيوانات المتحللة وفوسفات صخري غير قابل للذوبان وفوسفات معدني ذائب، وتلك الصور المختلفة للفوسفور لا بد وأن تتعرض للنشاط الميكروبي، وتستطيع العديد من الكائنات الحية الدقيقة القيام بالعديد من التفاعلات الفسيولوجية المختلفة للتأثير على إتاحة وذوبان مركبات الفوسفور حيث تقوم بإفراز بعض الأحماض العضوية لهذا الغرض، وأكسدة واختزال المركبات الفوسفورية، وعملية معدنة مركبات الفوسفور العضوية الى الصور المعدنية تساهم بشكل كبير في إضافة كميات كبيرة من هذا العنصر للتربة باستمرار. ولفهم التحولات الميكروبية لهذا العنصر في الطبيعة لا بد من تتبع دورة الفوسفور (الشكل رقم ٣). حيث نجد من الدورة أن الفوسفور الموجود في النبات والحيوان يتعرض لمهاجمة الكائنات الحية الدقيقة ويتحول بصورة مباشرة إلى المادة العضوية (الدبال) ثم تحدث عمليات مختلفة من التحولات الكيميائية والتي تؤدي



الشكل رقم (٢). دورة الفوسفور.

(المصدر: الكسندر، ١٩٨٢م)

في النهاية إلى تحرر الفوسفور في صورة متاحة وجاهزة لتغذية الكائن الحي، هناك مجموعات نشطة من الكائنات الحية الدقيقة تستطيع القيام بالعديد من التفاعلات الفسيولوجية والتي تؤدي في النهاية إلى معدنة الفوسفور وتحويله من الصور العضوية غير المتاحة إلى الصور اللاعضوية المتاحة ومنها بعض الأنواع التابعة لأجناس *Pseudomonas, Bacillus, Micrococcus, Flavobacterium, Aspergillus, Penicillium, Fusarium*(الكسندر، ١٩٨٢م).

كما وجد أن البكتيريا *Thiobacillus* spp. ذات قدرة على إنتاج حمض الكبريتيك بواسطة أكسدة الكبريت إلى حمض الكبريتيك وهذا يساهم بشكل كبير في إذابة الفوسفات، كما توجد في التربة أنواع عديدة من الكائنات الحية الدقيقة ذات قدرة على إفراز إنزيم الفوسفاتيز (phosphatase) ومن تلك الكائنات الحية الدقيقة أنواع من *Aspergillus , Penicillium, Strepromyces*. وهذا الإنزيم يعمل على فصل الفوسفور من المركبات العضوية (محمود وآخرون، ١٩٨٨م)، كما وجد أن حوالي ٣٠٪ إلى ٥٠٪ من الكائنات الحية الدقيقة المعزولة من التربة تستطيع تكوين هذا الإنزيم.

وعنصر الفوسفور كما هو معلوم يدخل في تكوين وتركيب الأحماض النووية والبروتينات النووية والسكريات المحتوية على الفسفور وفي الأغشية الخلوية بصورة عديد الفوسفات وأيضاً في المرافقات الإنزيمية (Coenzymes) وكذلك في المركبات الناقلة للفوسفات وذات الطاقة العالية مثل (ATP) (محمد، ١٩٧٧م)، كما تجب الإشارة إلى أن مدى توفر وإتاحة هذا العنصر يعتمد على العديد من العوامل البيئية مثل الرقم الهيدروجيني للتربة (pH) . فقد وجد أن التربة الحامضية يكون فيها هذا العنصر غير متاح، كما أنه عند وجود تراكيز عالية من عنصر الكالسيوم في التربة فإن ذلك يؤدي إلى تكوين مركبات غير ذائبة من عنصر الفوسفور مثل فوسفات الكالسيوم الثلاثية $Ca\ (PO_4^-)$.

كما وجد أن كثيراً من الكائنات الحية الدقيقة ذات قدرة كبيرة على إذابة الفوسفور غير العضوي، وبالذات مركبات فوسفات الكالسيوم ومن تلك الكائنات الحية الدقيقة: *Pseudomonas* spp., *Mycobacterium* spp., *Micrococcus* spp., *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp., *Sclerotium* spp.,(الكسندر، ١٩٨٢م).

ويمكن من السابق الإستدلال على أن الكائنات الحية الدقيقة تقوم بدور هام في عملية التمثيل (Assimilation) والمعدنة (Minerlization) لعنصر الفوسفور. كما تجب الإشارة إلى أن تفاعلات الأكسدة والإختزال الحيوية بواسطة الكائنات الحية الدقيقة تعتبر من أهم التحولات المهمة في مجال إتاحة عنصر الفوسفور في الطبيعة.

وقد أمكن وضع بعض الدراسات الخاصة في مجال إذابة الفوسفات بواسطة بعض الكائنات الحية الدقيقة وميكانيكية الاذابة، والجدول التالي يوضح ذلك:

الجدول رقم (٢). بعض الكائنات الحية الدقيقة النشطة في مجال إذابة الفوسفات وميكانيكية الإذابة.

الكائن الحي الدقيق	ميكانيكية الإذابة
Thiobacillus sp.	إنتاج حمض الكبريتيك (H_2SO_4) من الكبريت.
Nitrifying bacteria	أكسدة الأمونيا (NH_3) إلى حمض النتريك (HNO_3).
Aspergillus niger	إنتاج بعض الأحماض العضوية (Organic acids) مثل حمض الستريك (الليمون) (Citric acid).
Aspergillus flavus	
Fusarium oxysporum	
Penicillum sp.	

(المصدر: Ehrlich, 1981)

من الجدول السابق تتضح أهمية الكائنات الحية الدقيقة في مجال التحولات المختلفة لعنصر الفوسفور في الطبيعة.

ومن أكثر المشكلات توفر كميات كبيرة من عناصر الفوسفات غير الذائبة مثل فوسفات الكالسيوم أو الحديد أو فوسفات الألومنيوم وهذه تكون في بعض الأحيان غيرملائمة لنمو بعض الكائنات الحية الدقيقة التي لا تستطيع القيام ببعض الأنشطة الحيوية في مجال إذابة هذا العنصر كما هو موضح في الجدول رقم (٢)، كما أن

المياه العذبة تحتوي على كميات ضئيلة من هذا العنصر، لذا فإن تلك الكائنات الحية الدقيقة تلجأ إلى أخذ احتياجها من هذا العنصر عن طريق بعض الطحالب النشطة في مجال تركيز عنصر الفوسفور.

وفي مجال العلاقات التكافلية بين بعض الأنواع النباتية والفطريات المتخصصة والتي ينتج عنها الفطر الجذري (Mycorrhiza) وجد أن تلك النباتات تستطيع النمو حتى في الأوساط البيئية المحتوية على كميات ضئيلة من هذا العنصر حيث تعمل على امتصاصه عن طريق زيادة أسطح الإمتصاص (Boddy *et al*., 1989, Allen 1991, 1992).

وفي هذا المجال أيضاً وجد أن لبعض الفطر الجذري قدرة على إنتاج إنزيم (Phosphatase) النشط في إذابة مركبات الفوسفور المختلفة ومنها:

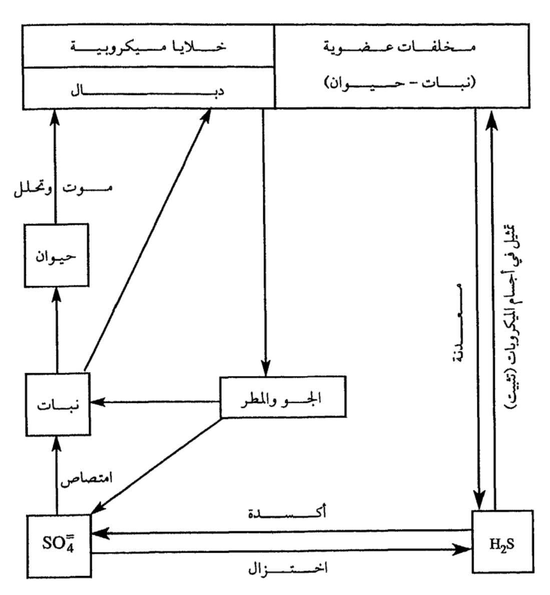
Lactarius rufus, Paxillus involutus, Suills luteus, Amanita muscaria (Atkinson *et al.*, 1983).

من السابق يتضح بشكل واضح الدور المهم والفعال لجميع التفاعلات الحيوية والتي تلعب فيها الكائنات الحية الدقيقة دور رئيسي في العمليات التي تؤدي إلى معدنة وتمثيل عنصر الفوسفور.

الفصل التاسع

التحولات الميكروبية لعنصر الكبريت

هذا العنصر من العناصر الضرورية لتغذية النبات والكائنات الحية الدقيقة، وتعتبر بقايا أجزاء النبات والحيوان المتحللة مصدراً وفيراً لعنصر الكبريت. وتكمن الأهمية الفسيولوجية لهذا العنصر في اشتراكه في تركيب بعض الأحماض الأمينية مثل الحمض الأميني (Cysteine) والحمض الأميني (Methionine) كمايدخل في تركيب المرافق الإنزيمي (Coenzyme A) الذي يلعب دوراً مهماً في عمليات التنفس، وتعتبر الكبريتات من أوفر المصادر لعنصر الكبريت في الطبيعة ومعظم الكائنات الحية الدقيقة ذات القدرة على القيام بعمليات التمثيل الضوئي وبعض البكتيريا التي لا تستطيع القيام بعمليات التمثيل الضوئي تحصل على عنصر الكبريت من أيونات الكبريتات، ولقد أطلق اسم (Eutrotophic) على بعض الفطريات التي تستطيع استخدام الكبريت من الكبريتات (السعد، ١٩٨٠م). وحتى يمكن فهم الدور الذي تقوم به الكائنات الحية الدقيقة في مجال التحولات المختلفة لعنصر الكبريت لا بد من دراسة دورة الكبريت في الطبيعة (الشكل رقم ٤). من خلال تلك الدورة نجد أن الكائنات الحية الدقيقة تعمل على مهاجمة المخلفات النباتية والحيوانية وتحليلها مما يساعد على انطلاق الكبريت والذي ينطلق جزء منه إلى الجو ومياه الأنهار والبحار ثم توجد مجموعات ميكروبية أخرى ذات قدرة على تمثيل الكبريت العضوي بعملية المعدنة وأن هناك أيضاً بعض المجموعات الميكروبية تستطيع استخدام صور



الشكل رقم (٤). دورة الكبريت. (المصدر: محمود وآخرون، ١٩٨٨م)

عديدة من الكبريت العضوي والمعدني لتغطية احتياجها الخلوي، كما أن هناك مجموعة من الكائنات الحية الدقيقة تستطيع القيام بعمليات الأكسدة والاختزال لمركبات الكبريت غير العضوية (SO_4^{2-}, H_2S) .

ويمكن اعتبار أن هناك ثلاث عمليات تقوم بها الكائنات الحية الدقيقة في المجالات المختلفة لتحولات هذا العنصر وهي :

١- تحلل المركبات العضوية الكبريتية إلى وحدات أصغر، ثم تتحول إلى مركبات معدنية.

٢- ثم عمليات التمثيل الميكروبي للمركبات الكبريتية وتحويلها إلى مركبات خلوية.

٣- أكسدة واختزال الكبريت المعدني (الكسندر، ١٩٨٢م) وهناك العديد من الكائنات الحية الدقيقة النشطة في مجال أكسدة الكبريت غير العضوي وذلك باستخدام التفاعلات الحيوية، وهذه الميكروبات تشمل كائنات حية دقيقة ذاتية وغير ذاتية التغذية ومن تلك الكائنات الحية الدقيقة : *Thiobacillus thiooxidans, Sulfolobus* spp., *Arthrobacter* spp., *Bacillus* spp., *Flavobacterium* spp., *Aspergillus* spp. *Penicillium* spp., *Streptomyces* spp., *Microsporum* spp., (محمود وآخرون، ١٩٨٨م). وهناك العديد من الكائنات الحية الدقيقة ذات القدرة على اختزال مركبات الكبريت غير العضوية ومنها أنواع تابعة لأجناس *Desulfovibrio desulfuricans* , *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Saccharomyces* (الكسندر، ١٩٨٢م).

كما تجب الإشارة إلى أن عمليات الاختزال تلك لا بد لها من توفر بعض العوامل البيئية المهمة مثل الرقم الهيدروجيني، وعادة ما تتم هذه العملية في حدود نطاق الرقم الهيدروجيني (٦) كما يتأخر حدوث هذه العملية نتيجة للتهوية والرطوبة.

وتؤدي مصادر التلوث المختلفة من حرق الفحم وصهر المعادن وتكرير النفط إلى انطلاق كميات هائلة من مركبات الكبريت الطيارة وتستطيع بعض الكائنات الحية الدقيقة تمثيل تلك المركبات والتي منها : كبريتيد الهيدروجين (H_2S) وأول

اكسيد الكبريت (SO) ومن تلك الكائنات الحية الدقيقة : *Pseudomonas* spp., *Clostridium* spp., *Schizophyllum* spp., *Aspergillus* spp. (الكسندر، ١٩٨٢م).

وكما هو معلوم فإن أكسدة بعض مركبات الكبريت تتم في التربة كيميائياً ببطء شديد ولكن تلك الأكسدة تتم في وجود الكائنات الحية الدقيقة بسرعة نظراً للنشاط الميكروبي لكائنات التربة. ومن أكثر أجناس البكتيريا المؤكسدة للكبريت غير العضوي جنس *Beggiatoa* وهذه تؤكسد كبريتيد الهيدروجين وترسب الكبريت على حاله حبيبات داخل الخلية، كما وجد أنها تمثل الكبريت العضوي والمعدني (طه، ١٩٧١م).

توجد العديد من الطحالب الخضراء المزرقة (Cyanobacteria) ذات القدرة على استخدام كبريتيد الهيدروجين (H_2S) لإنتاج الكبريت المعدني ومنها: *Oscillatoria limnetica* كما أن بكتيريا *Thiobacillus denitrifcans* وهي بكتيريا ذاتية التغذية كيميائية (Chemoautotrophes) تستطيع أكسدة العديد من مركبات الكبريت، كما سجلت العديد من الفطريات والخمائر ذات القدرة على أكسدة واستخدام كبريتيد الهيدروجين مثل الفطرة *Alternaria* spp. (Ehrlich, 1981).

وقد تمت دراسة نقل (Transport) وأيض (Metabolism) ثاني أكسيد الكبريت في الخمائر والفطريات الخيطية وأيضاً درست ميكانيكية هذه العملية، فقد وجد أن بعض أنواع الخميرة مثل: *Saccharomyces ludwigii* و *Saccharomyces cerevisiae* و *Zygosaccharomyces bailii* لها قدرة على إمرار (Passage) عنصر الكبريت من خلال غشائها البلازمي (Plasma membrane) توجد أيضاً بعض الفطريات التي تقوم بالميكانيكية نفسها ومنها: *Penicillium chrysogenum, Aspergillus* spp. *Candida albicans*.

وهناك أيضاً بعض الفطر الجذري (Mycorrhiza) ومنها: *Suillus bovinus*, *Paxillus involutus, Amanita muscaria, Pisolithus tinctorius, Hymenoscyphus, ericae* (Boddy *et al.*, 1989).

وكما هو معلوم فإن النباتات وبعض الكائنات الحية الدقيقة تستطيع استخدام أملاح الكبريتات(SO_4^{2-}) كمصدر للكبريت مثل استخدام أملاح النترات(NO_3^-) كمصدر للنتروجين وهذا التشابه يتمثل في الآتي :

أن ذرة النتروجين في جزيء النترات وذرة الكبريت في جزيء الكبريتات يجب اختزالهما قبل دخولهما في تركيب البروتوبلازم الخلوي ، كما أنه في حالة النيتروجين والكبريت تستخدم فقط كمية كافية للنمو دون إفراز أي فضلات مختزلة من الكبريت أو النتروجين إلى الوسط البيئي (النخال، ١٩٨٧م) .

ومن الأمور الواجب ملاحظتها أن أكسدة الكبريت بواسطة بعض الكائنات الحية الدقيقة يعمل على تكوين تربة الكبريت الحامضية ، فقد وجد أن بعض المستنقعات العذبة التي تنمو على شواطئها بعض النباتات مثل نبات الشورى (Mangrove) والتي تكون غنية بالكبريتيدات ، وفي وجود الأكسجين فإن الكبريتيدات تتأكسد إلى حمض الكبريتيك (H_2SO_4) وهذا يؤدي إلى زيادة تركيز الكبريتات (الكسندر، ١٩٨٢م) .

وعموماً فإنه عند تحلل المركبات العضوية واللاعضوية للكبريت بواسطة أنشطة الكائنات الحية الدقيقة تحدث التحولات الآتية :

الثبوت Immobilization: وهو تحويل الكبريت اللاعضوي إلى كبريت عضوي .

المعدنة Mineralization: وهذا عبارة عن تحول الكبريت العضوي إلى الصورة المعدنية الميسرة .

وتستطيع الكائنات الحية الدقيقة أن تأخذ احتياجها من العناصر المعدنية الضرورية لنموها من المادة العضوية المتحللة إذا كانت غنية بتلك العناصر والباقي يحدث له معدنة أما إذا كانت فقيرة في تلك العناصر المعدنية ومنها عنصر الكبريت فإنها تلجأ إلى العناصر الموجودة في التربة لوجودها في صورة ميسرة لبناء بروتوبلازمها الخلوي وبذلك تحولها من الصورة المعدنية إلى الصورة العضوية غير الميسرة (الثبوت) . ويتوقف حدوث المعدنة على نسبة الكبريت في المادة العضوية أو على نسبة الكربون : الكبريت في المادة العضوية (C:S ratio) ، فإذا كانت المادة ذات نسبة واسعة أي أنها فقيرة في الكبريت فإن الميكروبات تأخذ ما بها من كبريت واذا

لم يكف متطلبها الخلوي فقد تلجأ إلى الكبريتات الذائبة في التربة .

أما إذا كانت نسبة (C:S) ضيقة أي أن المادة غنية بالكبريت فان الميكروبات تأخذ احتياجها الخلوي والباقي يحدث له معدنة (المصلح والحيدري، ١٩٨٣م) .

وتستطيع العديد من الميكروبات أكسدة مركبات الكبريت غير العضوية مثل بعض الأنواع البكتيرية *Thiobacillus thiooxidans* و *Thiobacillus perrooxidan* و *Pseudomonas zelinskii* و *Bacillus megaterium* والجنس *Beggiatoa* وبعض الأجناس الفطرية مثل *Aspergillus* و *Penicillium* (محمود وآخرون ١٩٨٨م) .

الفصل العاشر

التحولات الميكروبية لعناصر البوتاسيوم والصوديوم والكالسيوم والمغنيسيوم

عنصر البوتاسيوم من العناصر الغذائية الرئيسة التي يحتاجها النبات والكائنات الحية الدقيقة، ويعتقد بأنه يشترك في أغلب العمليات الفسيولوجية مثل تكوين البروتينات واليخضور وتمثيل ونقل المركبات الكربوهيدراتية كما يعمل كمرافق لبعض الإنزيمات ويمتص بشكل أيونات البوتاسيوم (Mengel and Kirkby, 1982) .

وتعتبر الدراسة في مجال التحولات المختلفة لهذا العنصر بواسطة الكائنات الحية الدقيقة قليلة إذا ما قورنت بتلك المتعلقة بالتحولات التي تتم بواسطة النبات. يوجد البوتاسيوم في التربة الزراعية والمركبات العضوية وفي المعادن، كما يمكن إضافته للتربة على صورة مركبات غير عضوية قابلة للذوبان مثل أملاح الكبريتات والكلوريد والفوسفات، أو على صورة مركبات معدنية غير قابلة للذوبان كما يضاف على صورة أسمدة وبقايا النباتات المتحللة (طه ومحمود، ١٩٦٦م). وللكائنات الحية الدقيقة دور أساسي في التحولات المختلفة لهذا العنصر، وذلك بتحليل المخلفات النباتية والحيوانية، كما تقوم بعض الكائنات الحية الدقيقة بتمثيل هذا العنصر واختزانه في خلاياها وبذلك تتحول إلى الصورة العضوية (Immobilization) وتستطيع الكائنات الحية الدقيقة خلال عملية المعدنة (Mineralization) تحليل المركبات العضوية وتحويلها إلى الصورة المعدنية وبذلك ينطلق عنصر البوتاسيوم.

وكما أسلفنا فإن بعض الكائنات الحية الدقيقة تستطيع أن تفرز بعض الأحماض العضوية مما يساعد كثيراً على ذوبان هذاالعنصر. كما أن هناك بعض الكائنات الحية الدقيقة التي تستطيع تحليل مركبات الطين مثل سلكات الألومنيوم ومنها : *Bacillus* spp., *Pseudomonas* spp., *Aspergillus* spp., *Mucor* spp., *Penicillium* spp.

وبهذه الطريقة يمكن أن ينطلق البوتاسيوم من مركبات الطين (محمود وآخرون، ١٩٨٨م). كما تجب الإشارة إلى ظاهرة التضاد أو التنافر (Antagonism) والتي تحدث في التربة نتيجة للتأثيرات الفسيولوجية والتنافس بين العناصر المعدنية، والذي يؤدي إلى أن عنصر ما يساهم في امتصاص أو تثبيط امتصاص عنصر آخر (Kabata-Pendias and Pendias, 1985). وقد وجد (Hashem, 1993a) أن التداخلات (Interaction) بين عنصر الكالسيوم (Ca^{+2}) والبوتاسيوم (K^{+}) على سبيل المثال تعتبر من أهم المشكلات لامتصاص وأيض بعض العناصر المعدنية الثقيلة. كما تؤثر بشكل مباشر على تواجد الفلورا الفطرية في بعض الترب في المملكة العربية السعودية (Hashem and Parvez , 1994).

هناك العديد من العوامل البيئية التي تساهم بشكل مباشر في مدى توفر هذا العنصر في التربة، ومنها كمية المادة العضوية المتحللة والتهوية ومستوى الرطوبة والحموضة ودرجة الحرارة. فالتهوية على سبيل المثال تؤثر على نشاط الكائنات الحية الدقيقة، فالأراضي جيدة الصرف يتوفر فيها الأكسجين في الفراغات البينية لحبيبات التربة بكميات كبيرة تفوق ما تحتاجه الكائنات الحية الدقيقة. كما أن تفاعل التربة (pH) من العوامل المؤثرة في إتاحة وتوفر عنصر البوتاسيوم، فالأراضي الحامضية تحتوي على كميات ضئيلة من العنصر. كما أن عملية انطلاق عنصر البوتاسيوم تتأثر بدرجات الحرارة. كما يرتبط مدى توفر هذا العنصر إرتباطاً واضحاً بمستوى الرطوبة، وأن وجود النباتات يساعد بشكل كبيرعلى إفراز بعض المركبات التي تساهم في تنشيط وتشجيع نمو الكائنات الحية الدقيقة والتي تشترك في التحولات المختلفة لهذا العنصر وفي بعض الأراضي الفقيرة في العناصر المعدنية فان هناك تنافساً يحدث بين النباتات والكائنات الحية الدقيقة.

ولميكروبات التربة تأثير فعلي على مستوى البوتاسيوم المتاح في التربة بإذابة الكاتيون تتم من خلال تفاعل الأحماض العضوية أو غير العضوية مع معادن الطين المحتوية على هذا العنصر، كما أنه يختفي من خلال عمليات التمثيل اللازمة لبناء خلايا ميكروبية جديدة. وهناك بعض الأجناس الميكروبية التي يمكنها تحليل معادن الألومنيوسليكات مع إنفراد كمية من البوتاسيوم الموجود بداخلها ومنها الجنس *Bacillus* و *Pseudomonas* و *Aspergillus* و *Mucor*، كما أن إنتاج الأحماض العضوية يعد الوسيلة الأساسية لإذابة البوتاسيوم ومن تلك الأحماض حمض الكربونيك والكبريتيك حيث يتكون حمض الكربونيك من ثاني أكسيد الكربون الذي تنتجه بعض الميكروبات غير ذائبة التغذية مثل *Aspergillus niger* و *Clostridium* spp. .

والبوتاسيوم الموجود في المادة العضوية لا يوجد في صورة قوية الارتباط لذلك فإنه يمكن انفراده بسهولة خلال عمليات تحلل المادة العضوية ودون الحاجة لتفاعلات خاصة، كما أن تمثيل الميكروبات للبوتاسيوم يؤدي إلى تحول جزء من البوتاسيوم المعدني الذائب إلى بوتاسيوم خلوي مثبت (Immobilization) وقد وجد أن أجسام الميكروبات تحتوي على حوالي (٥ر٠-٣٪) بوتاسيوم من وزنها الجاف (الكسندر، ١٩٨٢م).

ومن أهم الأبحاث التي أجريت في مجال التحولات المعدنية لهذا العنصر وامتصاصه بواسطة بعض الفطر الجذري (Mycorrhiza)، فقد وجد (Harley and Smith, 1983) أن تركيز بعض العناصر المعدنية مثل المغنيسيوم والبوتاسيوم والكالسيوم والفوسفور والكبريت يكون بكميات كبيرة حول منطقة الجذور والغلاف الفطري لنبات *Pinus taeda*، وهذا يؤكد على دور الفطر الجذري على امتصاص تلك العناصر المعدنية.

عنصر الصوديوم (Na^+) من أهم العناصر المعدنية الضرورية لتغذية بعض النباتات الملحية مثل *Atriplex* sp. كما يعتبر عاملاً مساعداً في تثبيت البروتينات. كما وجد أنه عنصر ضروري للعديد من الأشنات (Lichens) (محمد، ١٩٧٧م).

وهو مهم أيضاً لنشاط بعض الإنزيمات مثل إنزيم (Oxaloacetate decarboxylase) ، كما تحتاجه العديد من الكائنات الحية الدقيقة مثل البكتيريا *Aerobacter aerogenes* و *Rhodospseudomonas spherodies*، وبعض الطحالب الخضراء المزرقة، بالإضافة إلى السابق فإن بعض البكتيريا المحبة للملوحة المعتدلة مثل أنواع من *Achromobacter* و *Pseudomonas* و *Lactobacillus* وأيضاً المحبة للملوحة العالية مثل أنواع من *Halobacterium* و *Micrococcus* و *Sarcina*، والطحلب *Dunaliella viridis* تحتاج عنصر الصوديوم بصورة ضرورية لإتمام نشاطها الفسيولوجي المختلف (السعد، ١٩٨٠م). وفي مجال التحولات المعدنية لعنصر البوتاسيوم والصوديوم فإن علاقة الجذر فطريات (Mycorrhiza) تساهم بشكل رئيسي في امتصاصها، كما تستطيع الفطريات الداخلة في هذه العلاقة تنظيم امتصاصها في منطقة الجذور بما يلائم حاجة النبات (Harley and Wilson, 1959) .

وجد (Harley and Smith, 1983) أن امتصاص عنصر البوتاسيوم والصوديوم بواسطة الجذر فطريات (Mycorrhiza) يبلغ تقريباً ضعف تلك التي بدون تلك العلاقة . (Non-mycorrhiza)

يوجد عنصر الكالسيوم في جدران الخلايا النباتية، وهو ضروري لانقسام ونمو الخلايا والقمم النامية، كما يؤثر في انتقال المركبات الكربوهيدراتية، ويوجد على شكل رواسب مثل أكسالات وكربونات الكالسيوم ويمتص بشكل أيوناته (Ca^{++}) (محمد، ١٩٧٧م). كما يعتبر عاملاً مرافقاً لبعض الإنزيمات مثل إنزيم (Proteinase) .

وعنصر الكالسيوم من العناصر الأساسية والمهمة في تغذية الكائنات الحية الدقيقة كما أنه يعتبر من المواد المنظمة (Buffering substances) لمعادلة الأحماض العضوية، وغير العضوية التي تتكون في التربة (طه، ١٩٧١م). تستطيع العديد من الكائنات الحية الدقيقة أن تلعب دوراً مهماً في التحولات المختلفة لهذا العنصر في الطبيعة والتي تشمل التمثيل (Assimilation) والمعدنة (Mineralization) والتخزين (Storage)، ومن تلك الكائنات الحية الدقيقة البكتيريا *Bacillus megaterium* و *E. coli* و *Rhodospseudomonas capsulata* ومن الطحالب *Fucus* spp. و *Pelvetia* spp. ومن

الفطريات .*Achyla* spp و *Dictyostelium discoideum* ومن الأوليات *Paramecium aurelia* (Wienberg , 1977) .

أما الأبحاث المتعلقة بالإنزيمات ونشاط عنصر الكالسيوم بواسطة الكائنات الحية الدقيقة، فقد وجد أن الفطرة *Aspergillus niger* تفرز إنزيم α–amylase ، كما تفرز البكتيريا *Clostridium welchii* بعض الإنزيمات الخارجية (Extracellular enzymes)، كما أن إنزيم α–amylase الذي تفرزه البكتيريا *Bacillus amyloliguefaciens* يساهم في امتصاص وثبات عنصر الكالسيوم (Boyer, 1976) . أما عنصر المغنيسيوم (Mg) فهو من الأيونات المهمة لتغذية الكائنات الحية وهو عامل مرافق لنشاط العديد من الإنزيمات وبالذات تلك المتعلقة بالفسفرة (Phosphorylation) ، كما يدخل كعامل منشط لبعض الإنزيمات مثل إنزيم (Hexokinase) (السعد، ١٩٨٠م)، كما يشترك هذا العنصر في عمليات التمثيل الضوئي وتمثيل المركبات الكربوهيدراتية وهدمها وفي تكوين البروتينات، ويمتص بشكل أيوناته (Mg^{+2}) (محمد، ١٩٧٧م) . وللكائنات الحية الدقيقة دور رئيسي في التحولات المختلفة لهذا العنصر في الطبيعة .

فقد سجلت العديد من الأبحاث العلمية أن بعض الكائنات الحية الدقيقة والقادرة على القيام بعمليات التمثيل الضوئي والتي يطلق عليها (Photosynthetic microorganisms) مثل البكتيريا القرمزية والخضراء والطحالب الخضراء المزرقة تحتاج هذا العنصر لنشاط اليخضور .

وقد أمكن ملاحظة أن هناك العديد من الكائنات الحية الدقيقة التي تستطيع أن تساهم في التحولات المختلفة لعنصر المغنيسيوم اما بالقيام بعمليات التمثيل أو المعدنة ومنها البكتيريا *Bacillus megaterium* و *Bacillus cereus* و *E. coli* و *Staphylococcus aureus* وبعض أنواع الخميرة مثل *Schizosaccharomyces pombe* وبعض الفطريات مثل *Aspergillus niger* و *Aspergillus oryzae* و *Penicillium chrysogenum* و *Penicillium notatum* و *Endomyces magnusii* (Weinberg, 1977) .

وعموماً فإن التحولات المختلفة لعنصر المغنيسيوم بواسطة الكائنات الحية الدقيقة تتم عن طريق تخزين هذا العنصر في البروتوبلازم الخلوي أو عن طريق نقله (Transport)

بواسطة الخلايا الميكروبية أو تمثيله أو معدنته مما يساهم بدرجة كبيرة في توفير المتطلبات اللازمة والضرورية لهذا العنصر في الطبيعة، كما يتضح أيضاً دور الكائنات الحية الدقيقة في تحويل مركبات العناصر المعدنية مثل البوتاسيوم والصوديوم والكالسيوم والمغنيسيوم وغيرها من العناصر الأخرى إلى صور عديدة صالحة للاستخدام الحيوي بواسطة الكائنات الحية الأخرى.

الفصل الحادي عشر

التحولات الميكروبية لعنصر الحديد

كما هو معلوم فإن عنصر الحديد يأتي في المرتبة الرابعة من بين العناصر الموجودة في القشرة الأرضية من حيث الوفرة حيث يبلغ متوسط تركيز عنصر الحديد في القشرة الأرضية حوالي ٥٪.

وللحديد أهمية خاصة من الناحية البيولوجية، فتستخدمه الخلايا الحية للتحفيز في الانتقال الإنزيمي للإلكترونات وفي عملية التنفس حيث يشترك في نقل الإلكترونات وأيضاً فإن له أهمية خاصة في عملية التمثيل الضوئي.

تعتبر أملاح الحديدوز مصدر رئيسي للطاقة لبعض الكائنات الحية الدقيقة فعلى سبيل المثال النوع *Thiobacillus ferrooxidans* المسئول بالدرجة الأولى عن إنتاج الحديد من خام الكبريتيد بالطرق الحيوية، حيث يستطيع أكسدة أملاح الحديدوز عند رقم هيدروجين (٣,٥) في غياب المادة العضوية (ذاتي التغذية) وقد يصل في بعض الأحيان إلى رقم هيدروجيني (٢,٠) وهذا المدى من الحموضة يدل على أن نشاط هذا الميكروب يقتصر على الأراضي الحامضية فقط وفيه يستطيع أن ينمو ويستخلص الطاقة من أكسدة أملاح الحديدوز. كما تشارك بعض الميكروبات غير ذاتية التغذية في ترسيب أملاح الحديديك مثل الجنس *Metallogenium* (الكسندر، ١٩٨٢م).

اعتماداً إلى السابق فإن للكائنات الحية الدقيقة دوراً رئيسياً ومهماً في التحولات التي تحدث لعنصر الحديد في الطبيعة.

يوجد الحديد في عدد من المعادن في الصخور والتربة والرسوبيات ويأتي في مقدمتها خام السدريت (Siderite) وخام الجيوتيت (Geothite) وخام هيماتيت (Hematite). يعتبر النشاط البركاني المصدر الرئيسي لتراكمات الحديد على سطح القشرة الأرضية، كما أن تعرض الصخور التي تحتوي على الحديد للعوامل الجوية يعتبر أيضاً من العوامل المهمة لتكوين مركبات الحديد (Kabata-Pendias and Pendias, 1985).

من المعلوم أن عنصر الحديد يلعب دوراً مهماً في وظائف العمليات الحيوية للكائن الحي فمثلاً للحديد دور كعامل مساعد في تكوين الكلوروفيل في النبات حيث وجد أنه يشترك في تكوين بعض المركبات الحيوية مثل السيتوكروم (Cytochromes) والتي تلعب دوراً رئيسياً في عمليات البناء الضوئي وعملية اختزال النترات إلى أمونيا (Nitrate reduction). يستطيع النبات امتصاص الحديد بشكله الأيوني (Fe^{++}) أو بشكل مركب عضوي معقد عن طريق الجذور أو قد يؤخذ عن طريق الأوراق عند رش النبات بمركبات الحديد مثل كبريتات الحديدوز.

ويعتبر الرقم الهيدروجيني (pH) من أكثر العوامل المؤثرة على مدى إتاحة عنصر الحديد حيث تتوفر مركبات الحديد بصورة جيدة في التربة الحامضية لأنها تصبح قابلة للذوبان.

وعلى الرغم من أن الحديد يعتبر من العناصر الغذائية التي يحتاجها الكائن الحي الدقيق بكميات قليلة (Micronutrient) في التربة فهذا العنصر يتم تحويله بسرعة عن طريق النشاط الميكروبي.

وتقوم الكائنات الحية الدقيقة في مجال التحولات المختلفة لعنصر الحديد في الطبيعة بالعديد من الأنشطة والتي تشمل:

١ - بعض الأنواع المتخصصة من البكتيريا لها القدرة على أكسدة مركبات الحديدوز إلى مركبات الحديديك التي تترسب في صورة هيدروكسيد الحديديك.

٢- الكثير من الأنواع غير ذاتية التغذية تهاجم أملاح الحديد العضوية الذائبة وتحولها إلى صور غير عضوية قليلة الذوبان فتترسب في محلول التربة .

٣- تقوم العديد من الكائنات الحية الدقيقة بتغيير جهد الأكسدة والاختزال في محيط وجودها وهذا يؤدي إلى تحويل أيونات الحديديك غير الذائبة إلى مركبات الحديدوز الأكثر ذوبانا .

٤- تستطيع أنواع كثيرة من البكتيريا والفطريات إنتاج بعض الأحماض مثل حمض الكربونيك والنتريك والكبريتيك وهذا يؤدي إلى زيادة حموضة التربة فيتحول الحديد إلى صورة ذائبة .

٥- هناك العديد من الميكروبات ذات قدرة على إزالة الحديد من التربة عن طريق مهاجمتها للشق العضوي من الأملاح (Ehrlich, 1981) .

أيضاً يمكن للحديد أن يترسب في بعض البيئات بفعل البكتيريا المؤكسدة أو بتأثير الكائنات غير ذاتية التغذية عند تحليلها للشق العضوي من أملاح الحديد أو بتأثير إنتاج الأكسجين بواسطة بعض الطحالب كما أن الحديد يترسب عندما يتحول الوسط إلى الناحية القلوية .

هناك العديد من الكائنات الحية الدقيقة التي تشجع أكسدة الحديد ولكن هذا لا يعني أن عملية الأكسدة تلك دائماً تكون بواسطة الانزيمات التي تفرزها بعض الكائنات الحية الدقيقة (Winkelmann and Winge, 1994) .

وقد أوضحت الدراسات التي قام بها كل من (Leathen *et al.*, 1965) و (Kisel, 1960) أن كلاً من البكتيريا *Ferrobacillus ferrooxidans* و *F. sulfooxidans* محبة لدرجة الحموضة العالية (Acidophilic) بالإضافة إلى قدرتهما على أكسدة الحديد .

وجد أن هناك بعض الأنواع البكتيرية التي لها القدرة على ترسيب الحديد فوق الغلاف الخلوي ومنها : *Sphaerotilus naetans*, *Leptothrix* spp., *Crenothrix Polyspora*, *Clonothrix* spp., *Lieskeella bifida* (Ehrlich, 1981) . هناك العديد من الكائنات الحية الدقيقة والتي تستطيع أكسدة الحديد بالطرق المباشرة (دون استخدام الإنزيمات)، وهي تقوم بذلك بشكل عام بالتأثير في إمكانية تغيير جهد الأكسدة والاختزال وفي إحداث تغيير في الرقم الهيدروجيني وقد كان في مقدمة من لاحظ

تلك الظاهرة كل من : (Harder 1919, Winogradsky 1922, Cholodny 1929) . يمكن إختزال الحديديك في الطبيعة إلى حديدوز بطريقة ميكروبية وكما هو الحال بالنسبة لأكسدة الحديد، وقد يكون الاختزال إنزيمياً أو غير إنزيمي. وقد أثبتت العديد من الدراسات والأبحاث أن لبعض الفطريات قدرة كبيرة على اختزال الحديديك وتأتي في مقدمة تلك الفطريات الجنس *Aspergillus*.

وعموماً فإن التحولات الميكروبية للحديد تلعب دوراً هاماً في دورة الحديد في الطبيعة حيث يضاف الحديد باستمرار من خلال أكسدة الحديد الموجود في المعادن والصخور والرواسب. وقد لاحظ (Hanert, 1974) التكوين الكثيف لأكسيد الحديديك في أنابيب التصريف والقنوات وفي التربة المشبعة بالماء مثل المستنقعات، وقد اتضح بشكل كبير دور البكتيريا في ترسيب الحديد (ابن صادق، ١٩٩٩م).

وقد وجد (Crerar *et al.*, 1979) أن هناك بعض الأنواع البكتيرية ذات القدرة على ترسيب الحديد ومنها : *Thiobacillus ferrooxidans, Leptothrix ochracea* .

وتلخيصاً للسابق يمكن القول أن الحديد يؤكسد إنزيمياً بواسطة بعض الكائنات الحية الدقيقة، كما يمكن للحديد أن يؤكسد لا إنزيمياً بواسطة بعض الكائنات الحية الدقيقة وذلك برفع جهد الأكسدة والإختزال وهذا يتم بتغيير الرقم الهيدروجيني للبيئة المحيطة.

كما يمكن للحديد أن يُركز على سطح خلايا بعض الكائنات الحية الدقيقة بواسطة الإمتزاز وقد أثبتت العديد من الأبحاث أن هناك بعض الميكروبات لها القدرة على ذلك.

وتحت ظروف نقص الأكسجين تتعرض بعض المواد المصنوعة من الحديد إلى التآكل ويرجع بعض هذا التآكل والتلف إلى تأثير الكائنات الحية الدقيقة، كما أن أمثل الظروف لحدوث هذا التلف في المواسير الحديدية هي درجات الحرارة المتوسطة والرقم الهيدروجيني العالي والتركيز القليل من الأكسجين وأيضاً وجود الكبريتات ونشاط بعض الكائنات الحية الدقيقة، ويرجع جزء من التلف لتأثير الكائنات الحية الدقيقة وتزداد في الأراضي سيئة الصرف، كما أن هناك علاقة مباشرة بين جهد الأكسدة والاختزال وحدوث التلف للمواسير تحت الظروف اللاهوائية ويمكن استنتاج نوع

الميكروبات المختصة بذلك، فقد وجد أن التأثير يرجع إلى فعل الجنس *Desulfovibrio* المختزلة للكبريتات والتي تعمل على إحداث تحولات في عنصر الحديد بترسيبه في صورة كبريتيد الحديدوز، علماً بأن تلك البكتيريا لا هوائية وتستخدم الكبريتات عند نموها كمستقبل للإلكترونات ومع توفر الظروف الملائمة من انخفاض جهد الأكسدة والاختزال وانخفاض الرقم الهيدروجيني (٥,٠) فإن ذلك يؤدي إلى تلف وتآكل المواد المصنوعة من الحديد (الكسندر، ١٩٨٢م) (ابن صادق، ١٩٩٩م).

وعلى الرغم من كون الحديد يعتبر من العناصر الغذائية الصغرى (Micronutrients) بالنسبة لنمو معظم الكائنات الحية في التربة إلا أن هذا العنصر يتم تحويله بسرعة عن طريق النشاط الميكروبي.

لوحظ وجود بعض الأنواع البكتيرية والتي يطلق عليها البكتيريا المؤكسدة للحديد والمحبة للحموضة العالية (Acidophilic Iron-Oxidizing Bacteria) ومن أهمها البكتيريا *Thiobacillus ferrooxidans* و *Sulfolobus Acidocaldarius* و *Sulfobacillus thermosulfidoxidans* و *Methaldogenium* spp. (Ehrlich, 1981)، كما لوحظ أن الفطرة *Hymenoscyphus ericae* تستطيع النمو في التركيزات العالية من عنصر الحديد (٥٠٠ جزء في المليون)، كما أنها ذات فائدة في تنظيم امتصاص هذا العنصر إذا حقنت مع بعض النباتات مثل نبات *Vaccinium macrocaspon* (Hashem, 1995a)، كما درس (Shaw *et al.*, 1990) تلك العلاقة تحت تراكيز منخفضة (١٤٤ جزء في المليون)، وقد اقترح وجود ميكانيكية خاصة لامتصاص عنصر الحديد بواسطة الجذر فطريات والتي أطلق عليها اسم: (Hydroxamate siderophores) (Schuler and Haselwandter 1988) .

إذاً يمكن القول من السابق أن الحديد في الوسط البيئي يتحول بواسطة نشاط الكائنات الحية الدقيقة إلى ما يلائم حاجة النبات، ففي الأراضي القلوية يتفاعل الحديد مع مركبات المادة العضوية مكوناً (Iron Humates) وفيها يستطيع النبات امتصاصه والإستفادة منه، كما قد تلجأ الكائنات الحية الدقيقة إلى إفراز بعض الأحماض العضوية أو أثناء تحلل المركبات العضوية والتي تتحد مع أيونات الحديد لتكوين ما يسمى (Organic iron complex) وهو أكثر قابلية للذوبان والامتصاص بواسطة النبات، كما قد يترسب الحديد على هيئة كبريتيد الحديديك تحت الظروف

اللاهوائية (محمود وآخرون، ١٩٨٨م).

كما لوحظ أن التحولات المختلفة لعنصر الحديد تتأثر كثيراً بالنشاط الميكروبي فقد وجد أن بعض الأنواع البكتيرية من جنس *Metallogenium* تؤثر بشكل مباشر في دورة هذا العنصر في الطبيعة كما تستطيع أن تراكم هذا العنصر على جدارها الخلوي (Weinberg, 1977).

ونظراً لأن هذا العنصر يؤثر كثيراً على امتصاص بعض العناصر المعدنية الأخرى بواسطة عملية التداخل (Interaction) ومن تلك العناصر المعدنية عنصر الكوبالت والمنجنيز والخارصين والكالسيوم (Alvarez-Tinaut *et al*, 1980). وهذا يؤدي إلى حدوث العديد من الأضرار والتي تلحق بالنبات نتيجة لعملية التضاد تلك بين الحديد والعناصر الأخرى وعليه فإن الكائنات الحية الدقيقة تقوم بدور فعّال ومهم للحد من تلك الأضرار عن طريق القيام بالعمليات الحيوية المختلفة للإمداد بهذا العنصر للنبات.

كما تمت دراسة العديد من الكائنات الحية الدقيقة ذات القدرة على التحولات المختلفة لعنصر الحديد وذلك باستخدام العديد من الطرق ومنها مايسمى (Siderochromes) ومنها البكتيريا *Staphylococcus typhimurium* , *E. coli* وبعض الفطريات مثل *Aspergillus* spp. و *Neurospora crassa* (Weinberg, 1977). أيضاً تم ملاحظة قدرة بعض أنواع الخميرة مثل *Saccharomyces cerevisiae* والتي تستطيع بواسطة الغشاء الخلوي الارتباط ونقل عنصر الحديد (Nikawa *et al.*, 1983). كما تمت دراسة الميكانيكية التي تقوم بها الفطريات لإصابة النباتات والحيوانات عن طريق (Siderophores) بواسطة الحديد (Dionis *et al.*, 1991).

أما الأبحاث في مجال تنظيم امتصاص عنصر الحديد بواسطة بعض الكائنات الحية الدقيقة فقد كشفت أن تلك الكائنات الحية الدقيقة ذات قدرة على تنظيم وامتصاص عنصر الحديد وهو يساهم كثيراً في توفير الاحتياج الملائم والمناسب من هذا العنصر للنبات والحيوان (Bagg and Neilands, 1987) وتقوم بتلك الميكانيكية أنواع مثل البكتيريا *Vibrio anguillarum* والفطريات الجذرية (Hashem, 1995a).

وتلخيصاً للسابق نجد أن أكسدة أيونات الحديد بواسطة الكائنات الحية الدقيقة

باستخدام البكتيريا *Thiobacillus ferrooxidans* والتي أكدت دور الكائنات الحية الدقيقة في الأكسدة الحيوية لأملاح الحديدوز في التربة، كما أن الكائنات الحية الدقيقة تشارك أيضاً في ترسيب أملاح الحديديك مثل الجنس *Metallogenium* spp.، لوحظ أيضاً أن هناك الكثير من السلالات البكتيرية تستطيع إزالة الحديد من محلول التربة عن طريق مهاجمتها للشق العضوي من أملاح الحديد ومنها بعض الأنواع التابعة لأجناس *Pseudomonas* و *Bacillus* و *Mycobacterium* و *Corynebacterium* و *Nocardia* كما تقوم مجموعات ميكروبية اخرى بمهاجمة المركبات العضوية المحتوية على الحديد ومنها الجنس *Metallogenium* و *Pedomicrocrobium* (الكسندر، ١٩٨٢م) هناك أيضاً العديد من الكائنات الحية الدقيقة التي تستطيع اختزال الحديد في التربة ومنها البكتيريا *Bacillus polymyxa* و *Aerobacter aerogenes* و *Escherichia freundii* وهذا التفاعل لا يتم إلا في غياب الأكسجين أي تحت الظروف اللاهوائية مما يؤدي إلى تآكل أنابيب الحديد باستمرار (محمود وآخرون، ١٩٨٨م) (ابن صادق، ١٩٩٩م).

الفصل الثاني عشر

التحولات الميكروبية لعنصر النحاس

يوجد عنصر النحاس منتشراً في صخور المافك (Mafic) فقد أمكن استخلاصه من الصخور الكربونية ، كما أن هذا العنصر سهل الاستخلاص في البيئات الحامضية .

يوجد النحاس في عدد من خامات الكبريتيد وأن تعرّض هذه المواد المدفونة في باطن الأرض إلى الأكسجين يؤدي إلى ظهور كميات كبيرة من النحاس الذائب في ظروف الحموضة الناتجة عن النشاط الميكروبي .

أثبتت العديد من الدراسات أن عمليات التمثيل الغذائي المختلفة للكائنات الحية الدقيقة تؤدي إلى التأثير على مستوى هذا العنصر في التربة .

ومعلوم أن عنصر النحاس يلعب دوراً أساسياً ومهماً في العمليات الحيوية لمختلف الكائنات الحية ، فمثلاً في النبات يدخل النحاس في عملية الأكسدة والاختزال في سلسلةانتقال الألكترونات (Electron transport chain) وأيضاً في التنفس الهوائي (Aerobic respiration) وكذلك يشترك في تكوين بعض الإنزيمات المتعلقة بالأكسدة والاختزال ، كما أن له دوراً مهماً في عمليات تثبيت النتروجين (Nitrogen fixation) (السعد ، ١٩٨٠م) .

أما كمية مركبات النحاس الذائبة في التربة فقليلة ، كما أن أيون النحاسيك يوجد ملتصقاً على التربة الطينية والمواد العضوية القابلة للتبادل .

وقد سجلت العديد من الدراسات والأبحاث التي أجريت في أماكن مختلفة من العالم أن تركيز عنصر النحاس في التربة يتراوح بين ٦ إلى ٣٠٠ جزء في المليون: (Tjell and Hovmand, 1972; Zborishchu and Zyrin,1978, Kitagishi and Yamane, 1981) أما في المملكة العربية السعودية فقد سجل (Hashem, 1990) تركيز عنصر النحاس في بعض مناطق المملكة بين ٥ إلى ٢١ ميكروجرام/ جرام.

يحدث التلوث بعنصر النحاس للتربة بواسطة العديد من الأنشطة التي يقوم بها الإنسان وتأتي في مقدمتها استخدام الأسمدة وأيضاً يحدث التلوث بواسطة تآكل أنابيب النحاس وأسلاك الكهرباء النحاسية.

يجب ألا ننسى أيضاً الدور الكبير الذي تقوم به المصانع في إحداث التلوث بعنصر النحاس حيث يضاف هذا العنصر إلى التربة أو إلى الماء الأرضي وهذا يسمى بالتلوث الصناعي (Industrial pollution) وهذا التلوث الصناعي يختلف من مكان إلى آخر على سطح الأرض تبعاً لنوع وكمية النحاس المستخدم في الصناعات المختلفة.

هناك العديد من الكائنات الحية الدقيقة ذات القدرة على إحداث تغييرات لعدد من المعادن مثل التركيب الكيميائي وتحول العنصر وحالات الأكسدة والاختزال والإذابة فعلى سبيل المثال وجد أن جنس *Thiobacillus* يستطيع أكسدة الكبريتيد أو أيونات الحديدوز في بعض الخامات المعدنية وذلك بإنتاج حمض الكبريتيك وهذا يؤدي إلى إذابة النحاس بطريقة غير إنزيمية، أيضاً يستطيع الكائن الحي الدقيق *Thiobacillus ferrooxidans* القيام بعملية أكسدة إنزيمية يتحول عن طريقها النحاسوز إلى أيونات النحاسيك (Nielson and Beck, 1972). إذاً يمكن القول أن إنتاج بعض الأحماض مثل حمض الكبريتيك وحمض النتريك بواسطة بعض الكائنات الحية الدقيقة من أملاح الكبريت والنشادر يعمل على إذابة بعض العناصر المعدنية ومنها عنصر النحاس (الكسندر، ١٩٨٢م).

إن تلوث التربة الزراعية بعنصر النحاس ساعد على ظهور أنواع وسلالات ميكروبية جديدة ذات مقاومة عالية لهذا العنصر وهذا يتضح جلياً عند استخدام بعض المضادات الميكروبية والتي لا يظهر لها أي تأثير على بعض الكائنات الحية

الدقيقة مثل الفطريات .

كما تعتبر مخلفات الصرف الصحي (Sewage) أيضاً من أكثر المصادر تلويثاً للتربة بعنصر النحاس فقد أثبتت العديد من الدراسات والأبحاث أن مخلفات الصرف الصحي تحتوي على تراكيز عالية لهذا العنصر وذلك سواء في المخلفات الصلبة (Sludge) أو السائلة (Loneragan *et al.*, 1981) . ونظراً لحدوث التلوث السريع للتربة كان لا بد من ظهور كائنات حية دقيقة تلائم هذا التلوث بعنصر النحاس بل وتستطيع أن تحدث العديد من التحولات لهذا العنصر .

وتوجد في الأسواق العديد من المبيدات الفطرية (Fungicides) والتي تحتوي على بعض التراكيب من عنصر النحاس ومنها على سبيل المثال المبيد الفطري والمسمى خليط بوردو (Bordeaux) واكسي كلورايد (Oxychloride) ، وكلاهما يساهم ايضاً في تلوث التربة بهذا العنصر .

هناك بعض الدراسات مثل الدراسة التي قام بها (Lindsay, 1972) والتي توضح أن الآثار السامة لعنصر النحاس تتم في التربة الحامضية ، كما أن ارتباط عنصر النحاس ببعض العناصر المعدنية والمادة العضوية يحددان الصورة التي يتواجد فيها النحاس .

وعلى الرغم من أن النحاس سام لكثير من الكائنات الحية في التراكيز المنخفضة إلا أنه يعتبر من أهم العناصر المعدنية التي يحتاجها الكائن الحي للنمو ، وقد تمت ملاحظة الأثر السام لعنصر النحاس على نمو بعض الكائنات الحية الدقيقة ومن تلك الأبحاث ما قام به (Yamamasaki and Tsuchiay, 1964) حيث وجد أن الفطرة *Penicillium oryzae* ذات قدرة عالية على النمو في التراكيز المرتفعة من هذا العنصر ، أيضاً فقد درس (Hashem, 1989) أثر عنصر النحاس على نموبعض الفطريات المعزولةفي المملكة العربية السعودية مثل *Aspergillus niger, Rhizopus stolonifer, Penicillium chrysogenum* حيث تستطيع تلك الفطريات أن تنمو في تراكيز تصل إلى حوالي ٥٠٠ جزء في المليون من عنصر النحاس في البيئات السائلة .

أيضاً هناك بعض الدراسات على الفطريات الجذرية حيث وجد أن بعضها مثل

Amanita muscaria و *Hymenoscyphus ericae* و *Laccaria laccata* ذات قـــدرة على تحمل التركيزات العالية من عنصر النحاس (Benson et al., 1980; Bradley *et al.*, 1982).

استناداً إلى الأبحاث والتجارب السابقة يمكن القول عموماً بأن للكائنات الحية الدقيقة وبالذات الفطريات نشاطاً ملحوظاً وسريعاً في التحولات التي تحدث لعنصر النحاس في الطبيعة ، وتلك التحولات التي تحدث لعنصر النحاس لا بد أنها ذات أثر فعّال ومهم في التوازن البيئي .

وحتى يمكن فهم طبيعة تلك التحولات التي تقوم بها بعض الكائنات الحية الدقيقة لا بد من فهم ميكانيكية المقاومة أو الطريقة التي تستطيع بها الكائنات الحية الدقيقة سلوكها للحد من الأثر السام لعنصر النحاس في العديد من الفطريات والتي يمكن تلخيصها كالتالي :

١ – وجـد (Strakey and Waksman, 1943; Gadd, 1981; Ross, 1982) أن بعض الفطريات من فصيلة *Dematiaceae* و *Aureobasidium Pullulans* و *Candida ablicans* ذات قدرة على تحمل التراكيز العالية بإنتاج بعض الجراثيم الكلاميدية (Chlamydospores) وهذه أطلق عليها مقاومة ظاهرية .

٢ – أيضاً كانت أبحاث (Gadd and Griffiths, 1980) والتي وجد فيها أن الفطرة *Auerobasidium pullulans* تستطيع إنتاج الميلانين (Melanin) وهذا يستحث إنزيم (Tyrosine-oxidase) وبه يستطيع الفطر مقاومة التراكيز السامة من عنصر النحاس وهذا النشاط الإنزيمي يسهم في ترسيب النحاس في البروتوبلازم الخلوي .

٣ – كما أن أبحاث (Kikuchi, 1965; Levi , 1969) أكدت أن لبعض الفطريات مثل *Saccharomyces* و *Poria vaillantii* القدرة على إنتاج كبريتيد الهيدروجين (H_2S) مع ترسيب النحاس على الجدار الخارجي .

٤ – من الأبحاث التي أجريت في هذا المجال تلك التي أجراها (Somers, 1963) على الفطرة *Neurospora crassa* والتي وجد فيها أن تلك الفطرة تستطيع أن تراكم عنصر النحاس على الجراثيم الفطرية لها .

٥- أما إنتاج بعض المركبات العضوية مثل حمض الستريك (Citric acid) وحمض الاوكساليك (Oxalic acid) والتي تعمل على ربط أو ترسيب عنصر النحاس بالإضافة إلى أنها تكّون مركبات معقدة مع النحاس وذلك يتم بواسطة بعض الفطريات مثل : *Poria monticola, Aspergillus niger* (Naiki , 1957; Ashowrth and Amin , 1964; Ross , 1975).

كما أن الأبحاث التي أجريت مؤخراً في مجال الفطر الجذري (Mycorrhiza) أثبتت أن الخيوط الفطرية تحتوي على مادة البكتين (Pectin) والتي تعمل على ربط الأيونات المعدنية (Duddrige and Read , 1982) .

لم تقتصر دراسة أثر سمية عنصر النحاس على الفطريات بل امتدت لتشمل بعض أنواع البكتيريا مثل *Aerobacter aerogenes* و *Serratia marcescens* وأيضاً بعض الأوليات مثل *Tetrahymena pyriformis* وبعض الطحالب مثل *Anabaena cylindrica* و *Chlorella pyrenoidos* حيث وجدا (Gadd and Griffiths, 1978) أن لعنصر النحاس تأثيراً كبيراً على تلك الكائنات الحية الدقيقة في التراكيز الضئيلة أما في التراكيز العالية فإن عنصر النحاس يصبح ساما لتلك الكائنات الحية الدقيقة.

كما أمكن ملاحظة أن الأثر الساماً لبعض العناصر السامة مثل النيكل والكوبالت والكادميوم والنحاس والخارصين يكون ضعيفاً على بعض الكائنات الحية الدقيقة مثل *Escherichia coli* و *Aspergillus niger* عند إضافة عنصر الماغنيسيوم إلى البيئة (Gadd, 1992) .

الفصل الثالث عشر

التحولات الميكروبية لعنصر الخارصين

تحتاج جميع الكائنات الحية لعنصر الخارصين بكميات قليلة ليساعد في عمليات الأيض الفسيولوجي والنمو. فقد تم التعرف على أن هذا العنصر ضروري لانه يساهم في تنشيط العديد من الإنزيمات وبالذات تلك المتعلقة بالأحماض النووية (RNA) و (DNA) وفي عمليات انقسام الخلية وفي بناء وتخزين بعض الهرمونات (Mortvedt *et al.*, 1972).

يوجد عنصر الخارصين (Zinc) منتشراً بين صخور (Magmatic) بتركيز (٨٠-١٢٠) جزء في المليون ، وفي الصخور الحامضية (Acid rocks) يصل تركيزه إلى (٤٠-٦٠) جزء في المليون، وأن تركيزه في بعض الأنواع المختلفة من التربة حول العالم يتراوح بين (١٧) إلى (١٢٥) جزء في المليون.

لاحظ (Lindsay, 1972) أن هناك العديد من العوامل التي تؤثر على نقص هذا العنصر ومنها التربة القلوية وقلة المادة العضوية في التربة وسكون النشاط الميكروبي (Microbial inactivation) . كما أن زيادة هذا العنصر تؤثر بشكل مباشر على امتصاص وأيض العناصر المعدنية الاخرى.

ويمتص الخارصين على هيئة أيوناته (Zn^{++}) ، كما يدخل في تكوين اليخضور وتركيب بعض الإنزيمات مثل (Carbonic anhydrase) وإنزيم (Alcohol dehydrogenase) وإنزيم (Carboxylase) (محمد ، ١٩٧٧م). وتستطيع العديد من الفطريات مقاومة

التراكيز العالية من هذا العنصر، والجدول رقم (٣) يوضح بعض تلك الفطريات وميكانيكية المقاومة.

الجدول رقم (٣). ميكانيكية المقاومة لعنصر الخارصين في بعض الفطريات

ميكانيكية المقاومة	المرجع
تستطيع بعض الفطريات مثل : *Neocosmopora vasinfecta* أن تعمل على تركيز هذا العنصر على جدارها الخلوي	(Paton and Budd,1972)
تستطيع بعض الفطريات ربط عنصراً الخارصين ببعض المركبات الخلوية مثل (Lipopolysaccharids)	(Schinder and Osborn,1979)
العديد من الفطريات يحتوي جدارها الخلوي على بعض المركبات ذات القدرة على الإلتصاق بحبيبات الخارصين مثل مادة (Chitin) و (Glycoproteins) .	(Aronson, 1982)
تقوم بعض الفطريات بتراكم هذا العنصر داخل البروتوبلاست الخلوي	(Harley, 1969)
توجد الأجسام عديدة الفوسفات (Polyphosphate bodies) في الخلايا الفطرية والتي تستطيع أن تلتصق وترتبط بعنصر الخارصين.	(Weinberg, 1977)

وقد حظيت الدراسات التي أجريت على التحولات المختلفة لهذا العنصر بواسطة الكائنات الحية الدقيقة بالعديد من الأبحاث التي تؤكد أهمية هذا العنصر لتلك الكائنات.

وتستطيع الكائنات الحية الدقيقة في التربة التأثير على مدى إذابة هذا العنصر كالتالي :

١- بواسطة إفراز بعض الأحماض العضوية.

٢- تستطيع بعض الأنواع البكتيرية والتي يطلق عليها بكتيريا النيترة (Nitrifying bacteria) إفراز حمض النيتريك (HNO_3) والذي يساهم على إتاحة عنصر الخارصين.

٣- تحلل المركبات والمخلفات العضوية ومعدنتها بواسطة بعض الكائنات الحية الدقيقة يساعد على إنطلاق عنصر الخارصين.

٤- كما أن تفاعلات الأكسدة بواسطة الكائنات الحية الدقيقة مثل *Thiobacillus* sp. والتي تؤكسد كبريتيد الخارصين (ZnS) يساهم في انفراد هذا العنصر في صورة جاهزة للامتصاص (محمد وآخرون، ١٩٨٨م).

وعموماً فإن الكائنات الحية الدقيقة الموجودة في التربة وفي منطقة الجذور بصفة خاصة تعمل على إحداث العديد من التغييرات في مدى إتاحة وامتصاص العناصر المعدنية، وعليه فإن عمليات التمثيل المختلفة للعناصر المعدنية بواسطة الكائنات الحية الدقيقة يمكن أن تؤدي إلى التأثير على مستوى تلك المعادن في التربة (Hashem and Al-Sohabani, 1995).

تمت دراسة امتصاص هذا العنصر بواسطة الفطرة *Aspergillus nidulans* والتي وجد أنها تستطيع مقاومة التراكيز العالية لهذا العنصر (Ashida, 1965). كما سجل (Doelman and Hanstra, 1979) وجود عنصر الخارصين في بعض الفطريات مثل: *Scleroderma bovista , Lycoperdon spadicum , Bovista plumbea* بتراكيز تصل إلى (٥٠٠٠) جزء في المليون.

لا بد من الإشارة إلى أن تداخل هذا العنصر مع بعض العناصر الأخرى مثل Zn-Cd و Zn-Cu و Zn-As و Zn-P و Zn-N و Zn-Ca و Zn-Mg يعمل على التأثير على امتصاص ومدى توفر تلك العناصر الأخرى (Kabata-Pendias and Pendias, 1985)، وهذا بطبيعة الحال يؤدي إلى حدوث اختلال في التوازن البيئي لامتصاص بعض العناصر المعدنية مما يؤثر بشكل مباشر على النشاط الفسيولوجي للكائنات الحية الدقيقة.

كما وجد أن التراكيز الزائدة من هذا العنصر تعتبر سامة لكثير من النباتات (Mortvedt *et al.* 1972)، وهذا يوضح أهمية تواجد الكثير من الكائنات الحية الدقيقة

حول المنطقة الجذرية مما يقلل من سمية هذا العنصر داخل البروتوبلازم الخلوي ، ونتيجة للأبحاث المكثفة في هذا المجال أتضحت أهمية العلاقات التكافلية بين بعض الأنواع المتخصصة من النباتات وبعض الفطريات لتكوين الجذر فطريات (Mycorrhiza) ، فقد وجد أن هذه العلاقة تؤدي إلى نمو النبات في التراكيز العالية في وجود تلك الفطريات المتخصصة وبالتالي يستطيع النبات أن يتجنب الأثر الضار للعناصر السامة .

العديد من الابحاث العلمية أوضحت حاجة بعض الكائنات الحية الدقيقة إلى عنصر الخارصين اللازم للنشاط الفسيولوجي لبعض الإنزيمات والتي يطلق عليها (Zinc-metalloenzyme) ومنها بعض الإنزيمات مثل إنزيم (Aldolases) ويفرز بواسطة الفطرة *Aspergillus niger* والبكتيريا *Bacillus subtilis* وإنزيم (Dehydrogenase) وتفرزه الخميرة *Saccharomyces cerevisiae* وإنزيم (Protease) وتفرزه البكتيريا *Serratia* spp. وإنزيم (DNA Polymerase) وتفرزه البكتيريا *E. coli* وأيضاً إنزيم (Amylase) والذي تفرزه البكتيريا *Bacillus subtilis* (Weinberg,1977) .

ومن أهم الدراسات التي اجريت في هذا المجال ، الدراسة التي قام بها (Brown and Wilkins, 1985) على بعض الفطر الجذري مثل الفطرة *Amanita* والفطرة *Paxillus* مع نبات *Betula* وأيضاً تلك التي قام بها (Denny, 1986) على بعض الجذر فطريات مع نبات *Betulla* والتي أمكن منها التأكد من الدور الرئيسي للفطريات التي تدخل في تكوين تلك العلاقة ، بالإضافة إلى إتاحة الفرصة للنبات للنمو حتى في وجود التراكيز العالية من هذا العنصر في التربة .

كما وجد (Hashem, 1987) أن الفطرة *Paxillus involutus* وهي من الفطر الجذري تستطيع مقاومة عنصر الخارصين في البيئات السائلة بتراكيز تصل إلى (٨٠) جزء في المليون ، كما أستطاعت تلك الفطرة تخزين عنصر الخارصين داخل غزلها الفطري بتركيز يصل إلى (١٥٠٠) ميكروجرام/ جرام .

كما أن قدرة الفطرة *Hymenscyphus ericae* وهي من الفطر الجذري الداخلية على النمو في التراكيز العالية (٢٠٠٠ جزء في المليون) من عنصر الخارصين قد أوضحت أهمية العلاقة بين الجذر فطريات والنباتات المتخصصة في التربةالتي

تحتوي على كميات زائدة من عنصر الخارصين (Bradley *et al.*, 1982). وقد تم توضيح ميكانيكية المقاومة للتراكيز العالية من عنصر الخارصين في وجود علاقة التكافل بين النبات والفطريات لتكوين الجذر فطريات ، والتي يستطيع بها النبات أن ينمو نمواً طبيعياً متجنباً الأثر السام للتراكيز العالية من عنصر الخارصين، وهذه النتائج تعزز أن نمو النباتات في التراكيز العالية من العناصر المعدنية يؤكد دور الكائنات الحية الدقيقة في التحولات المختلفة للعناصر المعدنية ودوراتها في الطبيعة (Burt *et al.*, 1986) ، وعليه فإن الكائنات الحية الدقيقة التي تشترك في علاقة الجذر فطريات تساهم بشكل رئيسي في امتصاص العناصر المعدنية التي يحتاجها النبات بكميات ملائمة وفي نفس الوقت تعمل على الحد من امتصاص العناصر السامة (Markes *et. al.*, 1982).

اما بالنسبة للفطر الجذري الحويصلي (Vesicular arbuscular mycorrhiza) فقد وجد أنها تنظم امتصاص عنصر الخارصين وتساهم في مقاومة النبات للتراكيز العالية من هذا العنصر ، كما تساعد الجذور في إمداد تلك الفطريات بمواقع لربط هذا المعدن (Dueck *et al.*, 1986).

وقد وجد (Killham and Firestone, 1983) أن الفطر الجذري الحويصلي (VAM) تعمل على تقليل سمية عنصر الخارصين وذلك بحبس الكميات الزائدة منه في الجذور مع تنشيط نمو المجموع الخضري.

لا شك أن الدراسات المتعلقة بالفطر الجذري وامتصاص عنصر الخارصين أوضحت أن تخفيف سمية عنصر الخارصين لايحدث فقط داخل النبات وأنما تتم تغيير تلك السمية أثناء الامتصاص بواسطة الفطريات نتيجة لبعض التفاعلات الكيميائية والتي تعمل على خفض سمية عنصر الخارصين، أيضاً اوضحت بشكل مهم دور تلك الكائنات الحية الدقيقة في التفاعلات التي تحدث لعنصر الخارصين في الطبيعة.

كما لوحظ أن هناك العديد من الكائنات الحية الدقيقة ذات قدرة على تمثيل (Assimilation) ومعدنة (Mineralization) هذا العنصر ومنها البكتيريا *Rhizobium* spp. و *Serratia marcescens* و *Mycobacterium* spp. ومن الفطريات *Candida utilis*

و.*Neocosmospora* spp ومن الأشنات *Usnea florida*، وأيضاً أوضحت العديد من الأبحاث أن لبعض الطحالب قدرة كبيرة على تراكم عنصر الخارصين على الجدار الخلوي ومن تلك الطحالب *Fuscus serratus* و *Laminaria digitata* و .*Nitzschis* spp و *Navicula semminulum* وقدتمت هذه الدراسة باستخدام النظائر المشعة لعنصر الخارصين المشع (Zn^{65})، (Weinberg, 1977).

الفصل الرابع عشر

التحولات الميكروبية لعنصر الألومنيوم

يشكل عنصر الألومنيوم أكثر من (١٥٪) من تركيب قشرة الأرض على شكل (Al_2O_3) ويعد من العناصر الموجودة بكثرة في الصخور المتحولة، كما تزداد نسبة ذوبان هذا العنصر عند رقم هيدروجيني ($pH = 5.5$) أو أقل من ذلك (Hashem, 1987). ويعتبر هذا العنصر من أهم العوامل المثبطة لنمو العديد من النباتات والكائنات الحية الدقيقة في التربة الحامضية. كما تمت دراسة أثر الأمطار الحامضية (Acid rains) على نمو العديد من الكائنات الحية الدقيقة والتي وجد فيها أن الألومنيوم يعتبر من أكثر العناصر المؤثرة على تثبيط نمو الكثير من الكائنات الحية الدقيقة ويصاحب هذا زيادة سمية بعض العناصر مثل المنجنيز (Mn) مع نقص في كمية عنصري الكالسيوم (Ca) والمغنيسيوم (Mg) (Mitchell, 1993).

كما أن التداخلات (Interactions) بين عنصر الألومنيوم والمادة العضوية تحدث بشكل رئيسي، حيث تعمل المادة العضوية (Organic matter) على ربط هذا العنصر (Foy,1974).

وقد وجد (Rerkasem, 1977) أن زيادة تركيز هذا العنصر تؤدي إلى تثبيط نمو بكتيريا العقد الجذرية *Rhizobium* sp.

وعلى الرغم من وجود عنصر الألومنيوم في بعض النباتات بتركيز يصل إلى (٢٠٠) جزء في المليون، فإنه إلى الآن لم يعرف الأثر الفسيولوجي لهذا العنصر على نمو النباتات، وبالذات تلك التي تتحمل التراكيز العالية منه (Al-tolerant

. plants)

ولاحظ (Firestone *et al.*, 1983) في دراسة أجراها على هذا العنصر أنه يعمل على تثبيط نمو الفطرة *Aspergillus flavus*، وعليه فإن أثر عنصر الألومنيوم على نمو الكائنات الحية الدقيقة قد يكون بواسطة التأثير المباشر على الكائن الحي الدقيق أو من خلال إحداث بعض التغييرات في ميكانيكية الامتصاص والمقاومة (Hashem, 1987).

كما تجب الإشارة إلى أن النباتات تُحدث العديد من التغيرات في المنطقة المحيطة بالجذور (Rhizosphere)، وهذا يؤدي إلى التأثير المباشر على النشاط الفسيولوجي للكائنات الحية الدقيقة، كما لوحظ أن الكائنات الحية الدقيقة ذات آثار واضحة على نمو النبات في هذه المنطقة وذلك بما تفرزه من بعض المركبات والتي تعمل على إذابة الاملاح المعدنية وتساهم في امتصاص تلك المغذيات المعدنية وأحياناً وتحت بعض الظروف الخاصة فإنها قد تتنافس مع النبات في امتصاصها للعناصر المعدنية.

ويعزى نشاط الكائنات الحية الدقيقة وتأثيرها على ذوبان هذا العنصر إلى إفرازها لبعض الأحماض العضوية، كما أن معدنة (Mineralization) هذا العنصر وتمثيله (Assimilation) تعتبر من أهم الطرق المساعدة في توفر هذا العنصر في الطبيعة.

وتعتبر الدراسات التي أجريت في مجال التحولات المختلفة لعنصر الألومنيوم بواسطة بعض الفطريات الجذرية (Mycorrhiza) من أهم الأبحاث التي تمت في هذا المجال، فقد وجد أنها ذات مقاومة عالية للتراكيز المرتفعة من هذا العنصر مقارنة بتلك التي اجريت مع بكتيريا العقد الجذرية *Rhizobium* spp. (Mitchell, 1993)، كما وجد (Hashem, 1987) أن لبعض الفطريات الجذرية مثل الفطرة *Hymenoscyphus ericae* والفطرة *Amanita muscaria* والفطرة *Laccaria laccata* قدرة كبيرة على النمو في التراكيز العالية من هذا العنصر في بيئات سائلة تحتوي على تركيز يصل إلى (٤٠٠) جزء في المليون، كما تستطيع تلك الفطريات أن تختزن هذا العنصر داخل غزلها الفطري بتركيز يصل إلى (٤٠٠٠) ميكروجرام/ جرام، كما أن الفطرة *Suillus bovinus* وهي من الفطر الجذري كانت من أقل الفطريات مقاومة لسمّية عنصر

الألومنيوم.

أما (Wang et al., 1985) فقد وجد أن الفطر الجذري الحويصلي *Glomus mosseae* تستطيع أيضاً مقاومة التراكيز المنخفضة من عنصر الألومنيوم، وعموماً فإن ميكانيكية المقاومة عند بعض الفطريات لسمّية هذا العنصر غير معلومة، لكن في النبات يمكن تجنب تلك المشكلة عن طريق زيادة الرقم الهيدروجيني (pH) وهذا يؤدي إلى قلة ذوبان عنصر الألومنيوم، كما يستطيع النبات خفض سمية هذا العنصر عن طريق ربطه مع مجموعة الكاربوكسيل (Carboxyl group) في الجدار الخلوي (Matsumoto *et al.*, 1977).

وعند حدوث علاقة التكافل بين الأنواع النباتية المتخصصة وبعض الفطريات لتكوين الفطريات الجذرية يمكن تفسير ميكانيكية المقاومة. وأن النبات استطاع في وجود تلك العلاقة أن ينمو في التراكيز العالية من هذا العنصر أعلى منه في النباتات التي تفتقر لتلك العلاقة.

لاحظ (Hashem, 1987) أن حقن بادرات نبات الصنوبر *Pinus contorta* ببعض الفطريات الجذرية مثل الفطرة *Paxillus involutus* و *Amanita muscarria* و *Suillus bovinus* و *Pisolithus tinctorius* يساهم بشكل كبير في مقاومة نبات الصنوبر للتراكيز العالية من هذا العنصر. كما أنه يعمل على نمو النبات ومجموعه الخضري بشكل جيد مع احتباس عنصر الألومنيوم في المجموع الجذري، أيضاً درست تلك العلاقة على الفطر الجذري *Hymenoscyphus ericae* مع نبات *Vaccinium macrocarpon* في وجود تراكيز عالية من هذا العنصر وثبت أن تلك العلاقة مفيدة جداً وتساعد على تجنب النبات للتراكيز السامة من العنصر. وهذا يوضح بشكل مهم الدور الأساسي للجذر فطريات في تحولات هذا العنصر في الطبيعة، فتستطيع تلك الفطريات تمثيل هذا العنصر داخل بروتوبلازمها الخلوي، ثم عندما تموت فإنها تصبح مادة مفيدة لتزويد الكائنات الاخرى بهذا العنصر، كما تقوم تلك الفطريات أيضاً بمعدنة هذا العنصر وتحويله من الصورة غير الميسرة إلى الصورة المتاحة والميسرة.

إن وجود الفطريات الجذرية قد أسهم بشكل كبير في نمو بعض النباتات في الأراضي الملوثة بالمطر الحمضي (Acid rains)(Burt *et al.*, 1986). وتعتبر الدراسات

المتعلقة بالتحولات المختلفة لعنصر الألومنيوم بواسطة الكائنات الحية الدقيقة الاخرى قليلة إذا ما قورنت بالدراسات التي أجريت في مجال امتصاص هذا العنصر وتحولاته المختلفة بواسطة النبات.

وقد تمت دراسة أثر التراكيز العالية لهذا العنصر على بعض الفطريات المعزولة من تربة المملكة العربية السعودية وقد تم تسجيل تلك الفطريات في المجمع الامريكي للمزارع الفطرية (American Type Culture Collection) ومنها الفطرة *Penicillium chrysogenum* (ATCC66565) والفطرة *Aspergiluus niger* (ATCC66564) والتي اتضح أنهما ذات مقاومة عالية لتراكيز عنصر الالومنيوم والتي تصل الى (٤٠٠) جزء في المليون وان تلك الفطرتين تستطيعان أيضاً تركيز ذلك العنصر إلى حوالي (٣٥٠٠) ميكروجرام/ جرام في الغزل الفطري (Hashem, 1993c)، وهذا يؤكد قدرتها على استخدام هذا العنصر والقيام بعمليات التمثيل والمعدنة، مما يؤدي إلى إتاحة هذا العنصر وامتصاصه بواسطة الكائنات الحية الاخرى، لكن تجب الإشارة إلى أن زيادة هذا العنصر في الوسط البيئي سوف يساهم بشكل كبير في تثبيط نمو العديد من الكائنات الحية الدقيقة الاخرى والتي تشترك في العديد من التفاعلات الفسيولوجية مما يؤثر بشكل مباشر على التوازن البيئي واحداث اختلال في النظام البيئي. كما وجد (Hashem and Parvez, 1994) أن التربة الغنية بعنصر الألومنيوم في منطقة حائل- المملكة العربية السعودية ذات أثر مباشر على التوزيع الفطري في التربة الغنية بذلك العنصر وأن عنصر الألومنيوم قد أثر مباشرة على الحد من نمو بعض الفطريات لعدم قدرتها على تحمل التراكيز العالية من ذلك العنصر.

أيضاً درست العلاقة بين امتصاص العناصر المعدنية السامة مثل عنصر الألومنيوم والكائنات الحية الدقيقة ومقاومتها والتي وجد أنها قد تكون بواسطة تراكم هذا العنصر بين الخلايا الميكروبية (Intracelluar accumulation) كما قد تكون ميكانيكية المقاومة بواسطة تفاعل الجدار الخلوي (Cell wall) مع العنصر المعدني وقد يكون بواسطة ربط واحتباس العنصر بواسطة ما يطلق عليه (Siderophore) وهذه عبارة عن مركبات مخلبية (Chelating agents) تفرز بواسطة العديد من الكائنات الحية الدقيقة وقد يكون بواسطة تحريك (Mobilization) أو تثبيت (Immobilization)

المعـدن أثناء الأيض الميكروبي (Microbial metabolism)، كـمـا تفـرز العـديد من الكائنات الحيـة الدقيـقـة بعض المركـبـات العـضـوية مـثل عـديدات التسكر (Polysaccharides) والتي ترتبط بالعنصر المعدني وهذا يؤدي إلى تقليل سـميتـه، وأيضاً قد تحدث التحولات للعنصر المعدني بواسطة ما يعرف بالميثلة (Methylation) وهو عبارة عن حدوث تطاير (Volatilization) للعنصر المعدني وهذا التطاير راجع للنشاط الميكروبي بدرجة كبيرة (Mitchell, 1993)، وتلك الانشطة المختلفة للكائنات الحية الدقيقة تساهم بشكل كبير في الإمداد بهذا العنصر وتوفره في الطبيعة.

يمكن القول أن نمو ومقاومة الكائنات الحية الدقيقة للتراكيز العالية من عنصر الألومنيوم تعتمد أيضاً على بعض المتغيرات البيئية ومنها المادة العضوية وتوفر العناصر الغذائية والرقم الهيدروجيني (pH) والتهوية والمحتوى الرطوبي. وقد أوضح (Robson and Abbott, 1987) أن أثر الرقم الهيدروجيني للتربة (pH) يظهر بشكل واضح عند اختبار عنصر الألومنيوم للمقاومة بواسطة بعض الكائنات الحية الدقيقة، ففي حالة انخفاض الرقم الهيدروجيني إلى أقل من (٥) فان سمية هذا العنصر تزداد ويظهر أثرها بشكل واضح على نمو الكائنات الحية الدقيقة.

كما درس (Wood, 1986) أثر هذا العنصر على نمو بكتيريا العقد الجذرية (*Rhizobium* sp.) حيث يظهر الأثر السام لذلك العنصر عند تركيز (٥٠) جزء في المليون، كما أوضح أن ذلك الأثر يظهر على هيئة الارتباط مباشرة مع الحمض النووي (DNA) مما يؤدي إلى تثبيط عمليات الانقسام، أما الدراسات على الجذر فطريات فقد أوضحت أنها اكثر مقاومة من البكتيريا حيث لاحظ نمو الفطرة *Suillus variegatus* عند تراكيز أعلى من التركيز السابق (Paulu and Bresinsky, 1989).

الفصل الخامس عشر

التحولات الميكروبية لعنصر المنجنيز

يشترك عنصر المنجنيز (Mn) كعامل محفز للعديد من الإنزيمات وخاصة تلك التي تدخل في تركيب الحموض النووية وإنزيمات التنفس وفي البناء الضوئي (Photsynthesis)، ويمتص بواسطة النبات على شكل أيونات ثنائية التكافؤ (Mn^{+2}) (محمد، ١٩٧٧م). كما يعتبر من العناصر الغذائية الصغرى (Micronutrients) اللازمة لنمو الكائنات الحية، ولأنه يوجد في التربة على الصورة الرباعية والثنائية التكافؤ فإنه يتيح لنشاط الكائنات الحية الدقيقة قدرة كبيرة على التحولات المختلفة لهذا العنصر في الطبيعة.

توجد العديد من الكائنات الحية الدقيقة النشطة في مجال أكسدة مركبات المنجنيز ومنها بعض أنواع البكتيريا التابعة لأجناس *Bacillus*, و*Arthrobacter* و *Clostridium* و *Corynebacterium* و*Pseudomonas* وبعض الفطريات من أجناس *Fusarium* و*Curvularia* و *Cladosporium* (الكسندر، ١٩٨٢م).

لكن تجب الإشارة إلى أن هناك العديد من العوامل البيئية والتي تؤثر بشكل مباشر في التحولات المختلفة لهذا العنصر، فعلى سبيل المثال أن الرقم الهيدروجيني للتربة (pH) يؤثر بشكل مباشر على مدى توفر هذا العنصر، فمعظم عمليات الأكسدة تتم في الظروف الحامضية كما أن نوع التربة وتهويتها أيضاً يلعب دوراً مهماً في إتاحة هذا العنصر بالإضافة إلى أن إفراز بعض المركبات العضوية

بواسطة النباتات أو الكائنات الحية الدقيقة في المنطقة المحيط جذرية (Rhizosphere) يؤثر أيضاً على كمية هذا العنصر، وكثافة الأعداد الميكروبية في التربة تعتبر عاملاً مهماً لأن بعضها ذو قدرة على إفراز بعض الأحماض وهذا يؤدي إلى زيادة التحولات المختلفة لهذا العنصر. كما يمكن للعديد من أنواع البكتيريا التابعة لأجناس *Bacillus* و *Pseudomonas* و*Micrococcus* و *Clostridium* اختزال مركبات المنجنيز رباعية التكافؤ إلى الصورة الثنائية (الكسندر، ١٩٨٢م).

وتشمل التحولات المختلفة لهذا العنصر بواسطة الكائنات الحية الدقيقة تمثيل مركبات المنجنيز في البروتوبلازم الخلوي وكذلك عمليات المعدنة. كما تجب الإشارة إلى أن عمليات الأكسدة والاختزال لمركبات المنجنيز المختلفة في التربة بواسطة نشاط الكائنات الحية الدقيقة قد تؤد ي إلى نقص عنصر المنجنيز الذائب وهذا يؤثر على نمو النبات كما يمكن أن تؤدي تلك العمليات وبالذات الاختزال إلى زيادة نسبة هذا العنصر وأيضاً في هذه الحالة فإن النبات سوف يتأثر بهذه الزيادة، لذا لا بد وأن تتم تلك العمليات تحت ظروف بيئية خاصةذات أثر ملموس على التوازن البيئي (Hashem and Al-Sohabani, 1995).

كما لوحظ أن إضافة الكبريت للتربة يؤدي إلى زيادة نسبة المنجنيز وسهولة امتصاصه بواسطة النبات وذلك من خلال أكسدة الكبريت وتكون حمض الكبريتيك، وأيضاً أن إضافة بعض الأسمدة مثل كبريتات الأمونيوم يساعد بشكل كبير على ذوبان المنجنيز نتيجة لتكون حمض النتريك (HNO_3) (محمود وآخرون، ١٩٨٨م).

لوحظ أن غمر التربة بالماء يساعد على زيادة نسبة المنجنيز الذائب، وهذه عبارة عن تحول المركبات التي تحتوي على عنصر المنجنيز إلى اشكال أكثر ذوباناً في الماء وتسمى الإذابة (Solubilization)، علماً بأن معظم خطوات الإذابة هذه تقوم بها كائنات حية دقيقة (المصلح والحيدري، ١٩٨٣م).

سجلت العديد من الأبحاث إحتياج هذا العنصر كمتطلب أساسي لتنظيم نمو الجراثيم البكتيرية (Bacterial sporeulation) كما وجد أنه لا يستطيع عنصر آخر إحداث هذه العملية بدلاً من عنصر المنجنيز، ومن أهم البكتيريا التي تحتاج

هذا العنصر لنمو جراثيمها البكتيريا *Bacillus subtilis* و *Bacillus fastidious* (Eienstadt, 1971, Channey *et al.*, 1951) وأيضاً لوحظ أن هذا العنصر يعمل كمرافق (Cofactor) للعديد من الأنزيمات ومن تلك الإنزيمات والتي يطلق عليها (Manganese-containing metalloenzyme) ومنها إنزيم (DNA-dependent) وإنزيم (RNA-polymerases) وأيضاً إنزيم (Superoxide dismutase) والذي تفرزه البكتيريا *E. coli* (Boyer,1976) .

لوحظ أيضاً أن البكتيريا التي ترسب الحديد على أغلفتها الخارجية والتي يطلق عليها (Iron-Depositing Sheathed Bacteria) مثل البكتيريا *Sphaerotilus discophorus* و *Leptothrix* spp. و *Colonthrix* spp. و *Lieskeella bifida* (Ehrlich, 1981) تستطيع أيضاً أكسدة المنجنيز مثل الحديد وترسيبه على جدارها الخارجي (Ali and Stokes, 1971) .

تمت دراسة النظم المختلفة لميكانيكية نقل هذا العنصر خلال خلايا الكائنات الحية الدقيقة، وقد وجد أنها تشابه تلك الموجودة في النبات، ويعتبر نظام النقل المعتمد على الطاقة (Energy-dependent transport system) ونظام النقل النشط (Active transport) من أهم تلك الأنظمة التي تساهم في امتصاص هذا العنصر بواسطة الكائنات الحية الدقيقة، وتلك الأنظمة توجد في العديد من البكتيريا ومنها البكتيريا *E.colii* و *Bacillus cereus* و *Staphylococcus aureus* (Silver *et al.*, 1970, Eienstadt, 1971, Weiss and Sliver, 1977) .

سجلت العديد من الأبحاث قدرة بعض الكائنات الحية الدقيقة غير البكتيريا على القيام بالأنشطة المختلفة بعمليات نقل وامتصاص عنصر المنجنيز ومنها الخميرة *Saccharomyces cerevisiae* والطحلب *Scenedesmus* spp. والفطرة *Aspergillus niger* والفطرة *Phialophora verrucosa* (Reiss and Nickerson, 1974, Armstrong, 1972, Cheniae and Martin, 1970, Sulochana and Lakshmanan, 1968) .

يتأكسد عنصر المنجنيز مثل الحديد بواسطة العديد من الكائنات الحية الدقيقة إما بطرق إنزيمية أو بطرق غير إنزيمية، وقد وجد أن هناك العديد من الكائنات الحية الدقيقة تستطيع أكسدة المنجنيز بطرق إنزيمية مثل البكتيريا *Leptothrix discophora* و *Arthrobacter* spp. و *Pseudomonas* spp. و *Citrobacter freundii* و *Pedomicrobium* spp. .

أما الكائنات الحية الدقيقة التي تسهم في أكسدة عنصر المنجنيز بطرق غير إنزيمية فهذه تشمل بعض أنواع البكتيريا التابعة لأجناس *Metallogenium* و *Kuznezovia* و *Siderocapsa* و *Nocardia* و *Aerobacter* و *Clonothrix* و *Naumanniella* ومن أنواع الفطريات *Cladosporium* و *Curvularia* و *Phoma* و *Philophora* و *Verticillium* (Ehrlich, 1981).

من السابق يتضح أن للكائنات الحية الدقيقة دوراً رئيساً في إمداد النبات بما يحتاجه من هذا العنصر والذي يكون عادة في صورة عديدة غير متاحة لاستخدام النبات والذي تظهر أعراض النقص عليه في مرض يسمى التبقع الرمادي (Gray-spech disease)، (Agrios, 1969).

أما في مجال ميكروبيولوجيا التعدين فقد أمكن استخدام البكتيريا *Thiobacillus thiooxidans* في إستخلاص عنصر المنجنيز من العديد من الخامات والمركبات المعدنية، كما وجدأيضاً قدرة البكتيريا *Bacillus manganicus* على إستخلاص هذا العنصر من الخامات المعدنية المختلفة (Ehrlich, 1981)، وقد أمكن استخدام هذه الظاهرة في المعمل وذلك باستخدام بيئة آجار صلبة تحتوي على كربونات المنجنيز أو أي ملح من أملاح المنجنيز وذلك باستخدام البكتيريا *Bacillus manganicus* أو الفطرة *Papulospora manganicus* حيث تظهر ترسبات بنية من عنصر المنجنيز على سطح البيئة عند نموها. ولا تقتصر تحولات المنجنيز بواسطة الكائنات الحية الدقيقة على التربة فقط وإنما امتدت لتشمل المياه العذبة (Fresh water) فقد وجد أن هناك العديد من البكتيريا القادرة على تحمل المنجنيز مثل البكتيريا *Hyphomicrobium* والبكتيريا *Methadogenium symbioticum* و *Bacillus polymyxa* القادرة على تحمل المنجنيز، كما وجد أيضاً أن هناك بعض أنواع من البكتيريا التي تلعب دوراً في تحولات المنجنيز في البحار مثل البكتيريا من أجناس *Micrococci* و *Arthrobacter* و *Bacilli* (Ehrlich, 1981).

وقد اختبرت قدرة بعض الكائنات الحية الدقيقة والتي عزلت من تربة المملكة العربية السعودية ومنها الفطرة *Fusarium oxysporum* والفطرة *Ulocladium tubercultum* للنمو في وجود تراكيز عالية من عنصر المنجنيز تصل إلى (٣٠٠) جزء

في المليون في البيئات السائلة ، وقد وجد أن هاتين الفطرتين تستطيعان النمو ومقاومة التراكيز العالية من هذا العنصر ، كما تستطيعان أيضاً تركيز حوالي (١٢٠٠ و٩٠٠) ميكروجرام/ جرام في الغزل الفطري من هذا العنصر على الترتيب (Hashem, 1992)، أيضاً لاحظ (Hashem and Al- Khalil, 1992) أن عنصر المنجنيز يؤثر بشكل مباشر على نمو الخميرة *Candida albicans* عند تركيز (٤٠٠) و (٣٠٠) جزء في المليون من عنصر المنجنيز .

وفي مجال امتصاص عنصر المنجنيز بواسطة الفطريات الجذرية (Mycorrhiza) فقد وجد أن الفطرة *Hymenoschyphus ericae* تستطيع امتصاص ومقاومة التراكيز العالية من هذا العنصر (١٠٠٠) جزء في المليون، كما وجد أنها عند علاقتها التكافلية مع نبات *Vaccinium macrocarpon* فإن النبات يستطيع النمو في وجود تلك التراكيز العالية مع احتباس التراكيز الزائدة عن حاجة النبات في منطقة الجذور مقارنة عند عدم وجود الفطر مع النبات (Non-mycorrhizal) (Hashem, 1995 a)

كما أن التحولات المختلفة لعنصر المنجنيز في الأوساط المائية تشمل تفاعلات الأكسدة والإختزال والتي تساهم فيه الكائنات الحية الدقيقة بدرجة كبيرة (Klug and Reddy, 1984)، كما تحدث تلك التحولات بطرق إنزيمية أو بطرق غير إنزيمية بمساعدة الكائنات الحية الدقيقة .

وعموماً فإن التحولات التي تشمل المعدنة (Mineralization) والتمثيل (Assimilation) والإذابة (Solubilization) والثبوتية (Immobilization) والإتاحة (Availability) للمنجنيز في التربة ليست إلا تحولات حيوية مهمة تلعب فيها الكائنات الحية الدقيقة دوراً مهماً في مدى إتاحة وتوفر هذا العنصر .

الفصل السادس عشر

التحولات الميكروبية لعناصر النيكل والكادميوم والرصاص والكوبالت

يوجد عنصر النيكل (Nickel) في التربة وبعض الصخور بتراكيز تتراوح من (١٤٠٠) إلى (٢٠٠٠) جزء في المليون، كما أنه سهل التحريك (Mobilized) خلال عمليات التعرية والتجوية، ويوجد على سطح التربة مرتبط مع المادة العضوية (Kabata-Pendias and Pendias , 1985) . وحتى الآن لم يُعرف الأثر الفسيولوجي لهذا العنصر ومدى حاجة النبات أو الكائنات الحية الدقيقة له . وقد لاحظ (Welch, 1979) أن عنصر النيكل يعتبر من العناصر الأساسية لتركيب بعض الإنزيمات مثل إنزيم (Urease) وأيضاً مهم لتكوين العقد الجذرية في النباتات البقولية لتثبيت عنصر النيتروجين. كما درس (Cataldo *et al.,* 1978) امتصاص وتوزيع عنصر النيكل (Ni) بواسطة نبات فول الصويا (Soybean)، فوجد أنه يُمتص بواسطة الجذور وبكميات ضئيلة جدا.

هناك العديد من العوامل البيئية التي تؤثر على امتصاص هذا العنصر وتحولاته المختلفة، فقد وجد أن المادةالعضوية تعمل كثيراً على تحريك هذا العنصر واتاحته من المركبات الأخرى، كما يلعب الرقم الهيدروجيني (pH) دوراً مهماً في توفر هذا العنصر، ففي التربة الحامضية يكون هذا العنصر أكثر وفرة منه في التربة القاعدية، بالإضافة إلى السابق فقد وجد أن التداخلات (Interactions) مع العناصر الأخرى وبالذات النحاس والخارصين والحديد تؤثر بدرجة كبيرة على مدى توفر هذا العنصر

(Bllomfield, 1981) . وفي الوقت الحالي تعتبر المخلفات التي تنتج من تصنيع المعادن وصهرها واحتراق الوقود (الفحم) والنفط الخام وتكريره من أهم المصادر الأساسية لتلوث التربة بعنصر النيكل، كما وجد أن مخلفات الصرف الصحي (Sewage) قد تحتوي على كميات كبيرة من هذا العنصر (Hashem, 1996a). واستناداً إلى السابق فإن التحولات المختلفة لهذا العنصربواسطة الكائنات الحية الدقيقة والتي تشمل المعدنة (Mineralization) والإذابة (Solubilization) والتمثيل (Assimilation) والتثبيت (Immobilization) ذات أهمية خاصة في مدى توفر واتاحة هذا العنصر في التراكيز التي تسمح لنمو النبات دون إحداث أية أضرار في النظام البيئي (Ecosystem) .

وفي الوقت الحاضر تم استخدام العديد من الكائنات الحية الدقيقة لإزالة الأثر الضار للمعادن الثقيلة من المحاليل المختلفة، وتعتمد هذه الطريقة على وجود بعض المركبات الحيوية في الجدار الخلوي للخلية الحية مثل مادة (Chitin) ومادة (Chitosan) ومادة (Glucans) والتي يمكنها الارتباط بالعنصر المعدني الثقيل إرتباطاً قوياً يقلل من الأثر السام له (Wainwright,1992) .

وتستطيع العديد من الكائنات الحية الدقيقة مقاومة التركيزات العالية من هذا العنصر، وهذا يؤدي إلى تراكم عنصر النيكل داخل البروتوبلازم الخلوي (تمثيله) ثم عند موت تلك الكائنات الحية الدقيقة فإن ذلك العنصر يضاف إلى المادة العضوية ليعاد مرة اخرى ويمثل بواسطة كائنات حية دقيقة اخرى، يؤدي هذا إلى حدوث معدنة لهذا العنصر بواسطة الكائنات الحية الدقيقة القادرة على معدنة وتمثيل عنصر النيكل داخل البروتوبلازم الخلوي ومنه البكتيريا *Staphylococcus* spp. والبكتيريا *Bacillus firmus* و *Synechococcus* spp. (Huckle *et al.,* 1993) والفطرة *Aspergillus candidus* و *A. clavatusi* (Hashem, 1996c) .

وقد أوضح (Gadd, 1992) أن العديد من العناصر المعدنية الثقيلة تستطيع أن تتداخل مع البروتوبلازم الخلوي للكائنات الحية الدقيقة، كما تستطيع الكائنات الحية الدقيقة تركيز ومراكمة العناصر المعدنية باستخدام طرق إنزيمية وغير إنزيمية أو باستخدام طرق التوصيل المختلفة. كما لوحظ أن الحويصلات الغشائية (Membrane vesicles) لبعض الأنواع البكتيرية مثل البكتيريا *E. coli* قادرة على امتصاص

ومراكمة عنصر النيكل (Weinberg,1977). ويستطيع الجدار الخلوي (Cell wall) ربط عنصر النيكل بواسطة وجود بعض التراكيب الخلوية، فقدوجد أن البكتيريا *Bacillus subtilis* و *Bacillus licheniformis* و *E. coli* تمتاز بوجود تلك التراكيب الخلوية مما يساهم بشكل كبير في مقاومة التراكيز العالية لعنصر النيكل (Klug and Reddy, 1984). يعتبر عنصر الكادميوم (Cd) عنصراً غير ضروري لنمو النبات (Non-essential element) الا أن النبات يمتصه بواسطة الجذور والاوراق، أما تركيزه في التربة فيتراوح بين (٢) إلى (٤٠٠) جزء في المليون في بعض الترب الملوثة، كما أن امتصاصه في النبات من (٢ر٠) إلى (١٤) جزء في المليون، وقد يشترك هذا العنصر في تركيب البروتين ومجموعة الفوسفات (Kabata-Pendias and Pendias, 1985). يعتبر هذا العنصر من أهم العناصر المعدنية التي تسبب التسمم للإنسان والنبات والحيوان، وقد تمت دراسة وجوده في الأغذية المختلفة وما يسببه من مشكلات صحية عديدة. وفي مجال التحولات الميكروبية المختلفة لهذا العنصر فقد تمت في العديد من الأبحاث دراسة أثر هذا العنصر على نمو الكائنات الحية الدقيقة، فقد لاحظ (Hashem, 1991) أن بعض الفطر الجذري (Mycorrhiza) مثل الفطرة *Hymenoscyphus ericae* والفطرة *Pisolithus tinctorius* ذات قدرة على مقاومة التراكيز العالية لهذا العنصر (٥٠٠) جزء في المليون، بالإضافة إلى أنهما تستطيعان مراكمة (٥٥٠٠) و (٤٠٠٠) ميكروجرام/ جرام من هذا العنصر ضمن غزلهما الفطري على التوالي، وبهذه العلاقة يستطيع النبات تجنب الاثر السام لهذا العنصر في التربة. كما تمت دراسة امتصاص هذا العنصر بواسطة الفطرة *Schizophyllum commune* والتي وجد أنها تستطيع امتصاص هذا العنصر ومراكمته على الغزل الفطري (Lilly *et al.*, 1992). وجد (Cooley *et al.*, 1986) أن زيادة عنصر الكادميوم في الوسط البيئي تؤدي إلى خفض نمو الجراثيم الفطرية والبكتيرية كما تثبط النمو للفطرة *Aspergillus nidulans*. أما الفطرة *Candida albicans* فقد لوحظ أن عنصر الكادميوم يؤثر على شكلها الخارجي وتراكيب جراثيمها إذا تعرضت لتراكيز عالية منه (Malavasic and Cihlar, 1992). كما درست مقاومة البكتيريا *Alcaligenes eutrophus* لعنصر الكادميوم، فوجد أنها ذات مقاومة عالية لهذا العنصر (Nies,

(Cunningham and Lundie, 1992) . أما ترسيب عنصر الكادميوم فقد درس بواسطة (1993 فقد وجد أن البكتيريا *Clostridium thermoacetiam* تستطيع ترسيب هذا العنصر على الجدار الخلوي وأن هذه العملية تعتبر كمصدر للطاقة اللازمة لنمو تلك البكتيريا. وفي المملكة العربية السعودية لاحظ (Hashem, 1995b) أن بعض الفطريات المعزولة من تربة المملكة العربية السعودية مثل الفطرة *Curvularia tuberculata* تستطيع النمو في التراكيزالعالية من عنصر الكادميوم (٣٥٠) جزء في المليون، كما تستطيع تلك الفطرة أن تراكم هذا العنصر داخل غزلها الفطري (٢٥٠٠) ميكرو جرام/ جرام، وجد (Babich and Stotzky, 1978) أن تركيز (٥٠٠) جزء في المليون من عنصر الكادميوم يثبط نمو الخميرة *Schizosaccharomyces octosporus* .

أما عنصر الرصاص فيتواجد في معظم الصخور بتركيز من (١٠-٤٠) جزء في المليون، كما سجل في مختلف أنواع التربة في العالم بتركيز (٣-١٨٩) جزء في المليون، وقد تحتوي بعض التربة الملوثة على نسبة أعلى من ذلك(Kabata -Pendias and Pendias, 1985) . لوحظ أن نسبة تركيزه في التربة من (١٠٠) إلى (٥٠٠) جزء في المليون تعتبر سامة للنبات (Kitagishi and Yamane, 1981) . وعلى الرغم من أن عنصر الرصاص غير ضروري لتغذية النبات، الا أنه وجد أنه يساهم في نمو بعض النباتات الملحية في التراكيز المنخفضة، كما وجد أنه يثبط امتصاص بعض العناصر الضرورية التي يحتاجها النبات (Zimdahl and Koeppe, 1977) .

وعموماً فإن قدرة بعض النباتات على النمو في التراكيز العالية من عنصر الرصاص تعتمد في المقام الأول على العديد من العوامل البيئية والتي تؤثر على عملية الامتصاص ومنها عوامل التعرية والتلوث واختلاف الفصول من السنة وطرز التراكيب الوراثية للنبات. كما وجد أن نسبة تركيز هذا العنصر في النباتات التي تنمو في التربة غير الملوثة تتراوح بين (١ , ٠) إلى (١٠) جزء في المليون (Cannon, 1976) . هناك أيضاً العديد من النباتات وبعض الأنواع البكتيرية التي تستطيع أن تسلك ميكانيكية خاصة للمقاومة (Pb-tolerance mechanism) وهذه الميكانيكية تساهم بدرجة كبيرة في تجنب الأثر السام لذلك العنصر على نمو الكائن الحي (Lane *et al.*, 1978) .

لا شك أن الدراسات التي اجريت في مجال مدى مقاومة وامتصاص عنصر الرصاص بواسطة بعض الكائنات الحية الدقيقة ساهمت بشكل كبير في بيان الدور الذي تلعبه تلك الكائنات الحية الدقيقة في دورة عنصر الرصاص في الطبيعة. وقد تمت دراسة اثر عنصر الرصاص وسميته على العديد من الكائنات الحية الدقيقة في أماكن مختلفة من العالم (Hashem, and Al-Rahmah, 1993) (Ashida, 1965; Gadd, 1981; El-Sharouny *et al.*, 1988). وقد وجد أن البكتيريا *Staphylococcus aureus* تستطيع مراكمة ومقاومة عنصر الرصاص (Weinberg, 1977) وذلك بوجود ميكانيكية خاصة للمقاومة. كما لاحظ (El-Sharouny *et al.*, 1988) أن عنصر الرصاص يثبط نمو بعض الفطريات المعزولة من التربة المصرية. أيضاً تمت ملاحظة الأثر السام لعنصر الرصاص على نمو فطرة *Coprinus micaceus* والتي عزلت من تربة المملكة العربية السعودية، وقد وجد أنها تقاوم تراكيز تصل إلى (٢٠٠) جزء في المليون من هذا العنصر، كما لوحظ أنها تستطيع أيضاً تحمل تراكم عنصر الرصاص داخل الغزل الفطري (٢٠٠٠) ميكروجرام/ جرام (Hashem and Al-Homaidan, 1989).

وجد أيضاً أن بعض الأجسام الثمرية لفطرة *Coprinus comatus* والفطرة *Coprinus atramentarius* والتي جمعت من فنلندا تحتوي على (٣٠٠-٩٠٠٠) ميكروجرام/ جرام من عنصر الرصاص (Byrne *et al.*, 1976)، كما لاحظ كلٌ من (Duddridge and Wainwright, 1980) أن بعض الفطريات المائية مثل الفطرة *Pythium* spp. والفطرة *Scytulidium* spp. والفطرة *Dictyuchus* spp. تستطيع تركيز عنصر الرصاص داخل الغزل الفطري (٣٠٠٠ -٤٥٠٠-٦٠٠٠ ميكروجرام/ جرام على التوالي). وهذا بالطبع يؤكد أن تلك الفطريات تستطيع امتصاص هذا العنصر من مختلف مصادر التلوث الرئيسية كما يمكن استخدام بعض تلك الفطريات كمؤشرات للتلوث بعنصر الرصاص.

تمت دراسة الأثر السام لعنصر الرصاص على العديد من الفطريات (Vallee and Ulmer, 1972, Ross, 1975) حيث وجد أن ذلك العنصر يؤثر على تلك الفطريات وبدرجات متفاوتة نتيجة لاختلاف طرق المقاومة بين تلك الفطريات، كما لاحظ

(Ramamoorthy and Kushner, 1975) أن التراكيز العالية من عنصر الرصاص تسبب تخثراً سريعاً وترسيباً لبروتين العديد من الكائنات الحية الدقيقة.

كما درس ايضاً (Hashem, 1990) أثر عنصر الرصاص على نمو بعض الفطر الجذري مثل الفطرة *Hymenoscyphus ericae*، عندما نميت في بيئات سائلة تحتوي على (٤٠٠) جزء في المليون من عنصر الرصاص وكذلك إذا نميت عند وجود أو غياب نبات *Vaccinium macrocarpon*، وقد لاحظ ان تلك الفطرة تستطيع النمو بدرجة عالية كما يمكنها أن تختزن هذا العنصر في غزلها الفطري عند تركيز (١٦٠٠) ميكروجرام/ جرام، وفي وجود علاقة التكافل بين النبات والفطرة (Mycorrhiza) فقد وجد أن نمو النبات كان جيداً بالإضافة إلى احتباس التراكيز السامة الزائدة عن حاجة النبات في المجموع الجذري مقارنة بالوضع عند وجود النبات مستقلا عن الفطرة.

لم يثبت إلى الآن احتياج النبات لعنصر الكوبالت (Co)بصورة مؤكدة، غيرأن النباتات البقولية في وجود بكتيريا العقد الجذرية (*Rhizobium* spp.) تحتاج لهذا العنصر، كما تحتاج بعض النباتات غير البقولية لتراكيز ضئيلة جداً من هذا العنصر. هناك العديد من العوامل البيئية التي تحدد مدى انتشار هذا العنصر في التربة ومنها المادة العضوية (Organic matter) وكمية الطين في التربة والرقم الهيدروجيني (pH)، كما أن تركيز هذا العنصر في التربة يتراوح بين (٣,٠-٢٠٠) جزء في المليون، أما تركيزه في بعض النباتات يتراوح بين (٨-١٠٠) جزء في المليون من وزن المادة الجافة (Kabata-Pendias and Pendias, 1985) ويعتبر عنصر الكوبالت مهماً لنمو العديد من الكائنات الحية الدقيقة وفي مقدمتها الطحالب الخضراء المزرقة (Blue-green algae)، كما وجد أن هذا العنصر مهماً لنمو النباتات البقولية، حيث يؤثر هذا العنصر على تكون العقد الجذرية اللازمة لتثبيت النتروجين، حيث يشترك في تكوين مرافق إنزيم (Cobamide coenzyme)، كما أن هذا العنصر يساهم بشكل كبيرفي تثبيط امتصاص عنصر المغنيسيوم (Mg) بواسطة بعض الكائنات الحية الدقيقة وهذا يقلل من المقاومة الميكروبية (Weinberg, 1977).

عندما درست التحولات المختلفة لعنصر الكوبالت بواسطة العديد من الكائنات الحية الدقيقة، وجد أن البكتيريا *Alcaligenes eutophus* يمكنها مقاومة التراكيز العالية من هذا العنصر، بواسطة ميكانيكية خاصة توجد في البروتوبلازم الخلوي أو في الكروموسوم البكتيري أو على الجدار الخلوي (Nies, 1992).

لوحظ أيضاً أن الاثر السام لعنصر الكوبالت على بعض الفطريات راجع إلى عدم تمكن تلك الفطريات من تمثيل عنصر الحديد والقيام بالتحولات المختلفة له (Winkelman and Winge, I973)، وعلى الرغم من أن هذا العنصر يشترك في معظم التفاعلات الحيوية لبعض الفطريات إلا أنه لم يفهم حتى الآن تلك الميكانيكية (Michael and Evans, 1986). كما أن التراكيز العالية من عنصر الكوبالت (٢٠٠٠) جزء في المليون تثبط نمو بعض الفطريات مثل *Drechslera halodes* و *D.tetramera* و *Fusarium moniliforme* و *Curvularia lunata* (Lokesha and Somashekar, 1990). كما لاحظ (Wainwright *et. al,* 1986). إن انخفاض نمو بعض الفطريات في التراكيز العالية من هذا العنصر (٥٠٠) جزء في المليون قد يرجع إلى عدم قدرتها على أكسدة هذا العنصر.

كما وجد كل من (Ross, 1975; Gadd, 1981; McCreight and Schroeder,1982) أن العناصر المعدنية الثقيلة ومنها عنصر الكوبالت لا تثبط فقط نمو الكائنات الحية الدقيقة وانما تؤثر أيضاً على الشكل الظاهري وتغير أيضاً المسارات الفسيولوجية للنشاط الميكروبي. كما يظهر الأثر السام لهذا العنصر في امتصاص بعض العناصر المعدنية التي يحتاجها الكائن الحي الدقيق، فقد لوحظ أن نمو البكتيريا *Bacillus subtilis* يتأثر بوجود تراكيز عالية من عنصر الكوبالت والذي يثبط امتصاص عنصر المغنيسيوم (Weinberg, 1977).

كما تمت دراسة أثر عنصري الكوبالت والنيكل على الفطرة *Fusarium solani* والتي عزلت من تربة المملكة العربية السعودية بعد نموها في بيئات سائلة تحتوي على العنصرين السابقين، وقد وجد أنها مقاومة للتراكيز العالية من عنصر الكوبالت أكثر من عنصر النيكل، كما تستطيع تلك الفطرة تركيز وامتصاص واختزان عنصر الكوبالت والنيكل ضمن غزلها الفطري (Hashem and Bahkali, 1994).

وقد تم توضيح التفاعلات الكيميائية التي تحدث بين الكائنات الحية الدقيقة والعناصر المعدنية السامة لتجنب أثرها الضار، فقد وجد أنها قد تكون عبارة عن تراكم داخلي (Intracellular accumulation) في البروتوبلازم الخلوي أو ترسب على الجدار الخلوي (cell wall) أو بعض المركبات المخلبية (Chelating agents) تفرزها بعض الكائنات الحية الدقيقة والتي ترتبط بشدة مع العنصر المعدني، بالإضافة إلى السابق قد تقوم الأنشطة الفسيولوجية بإفراز بعض الإنزيمات الداخلية أو الخارجية للتقليل من الأثر السام للعنصر المعدني، كما تحدث بعض الانشطة مثل التحولات المختلفة والتي تشمل المعدنة والتمثيل والترسيب أو بطريقة التطاير (Volatilization) للمعدن كما جاء في بكتيريا الميثلة (Mitchell, 1993) وتلك العمليات السابقة سوف تساهم بشكل كبير على خفض الأثر السام للعناصر المعدنية الثقيلة مما يساعد بشكل كبير على نمو النباتات، كما أنها في نفس الوقت سوف تعمل على الحفاظ على توفر وإتاحة تلك العناصر المعدنية وعدم الإخلال بالتوازن البيئي. وقد أدى الاهتمام بموضوع تلوث البيئة وبالذات بالعناصر المعدنية الثقيلة إلى الاهتمام بالتحولات المختلفة التي تقوم بها الكائنات الحية الدقيقة في هذا المجال، كما أن الدور الذي تقوم به الكائنات الحية الدقيقة في دورات العناصر المعدنية في الطبيعة يعتبر دوراً مهماً في التحولات والتغيرات الحيوية التي تحدث للعناصر البيئية على سطح الأرض، وكما أوضحت الدراسات السابقة قدرة تلك الكائنات الحية الدقيقة على النمو والتأقلم في البيئات والاوساط الغذائية المحتوية على تراكيز عالية وسامة من العناصر المعدنية الثقيلة، وأن الحاجة لتلك المعادن وتركيزها يختلف من كائن حي دقيق لآخر تبعاً للظروف والعوامل البيئية التي تؤثر على توفر تلك المعادن، كما أن تلك الكائنات الحية الدقيقة واسعة الانتشار في جميع الإوساط البيئية، فقد سجلت في التربة والماء والهواء وأنها تشترك بعضها مع البعض في العديد من العلاقات التي يتحكم فيها الاتزان الميكروبي.

الفصل السابع عشر

التحولات الميكروبية لعناصر البورون والزرنيخ والزئبق واليورانيوم والسلينيوم

عنصر البورون (B) من العناصر التي يحتاجها النبات بكميات ضئيلة (Micronutrient) وقد يدخل في تكوين البروتينات ونقل المركبات الكربوهيدراتية، كما وجد أنه ضروري في النباتات البقولية لتكوين العقد الجذرية (محمد، ١٩٧٧م). ويصل تركيزه في مختلف أنواع التربة في العالم من (١-٤٦٧) جزء في المليون، أما في النبات فيصل تركيزه من (٥-٧٨) جزء في المليون، وعلى الرغم من أنه غير ضروري لبعض الفطريات والطحالب فقد وجد أنه مهم لبعض الأنواع البكتيرية المثبتة للنتروجين، كما أن الجذر فطريات تحتاج هذا العنصر (Kabata-Pendias and Pendias, 1985).

يؤثر هذا العنصر بشكل كبير على امتصاص بعض العناصر المعدنية مثل النحاس والمنجنيز والحديد والكالسيوم في العملية التي يطلق عليه التضاد (Antagonism) أو التداخل (Interaction) (Leal *et al.*, 1972). وهذا العنصر أيضاً مهم لأنه يدخل في تكوين الجدار الخلوي ونقل السكر، لذا تتضح أهمية الكائنات الحية الدقيقة في مدى إتاحة هذا العنصر وتوفره لامتصاصه بواسطة النبات (Lambert *et al.*, 1980). ودور الكائنات الحية الدقيقة في تحويل البورون في الطبيعة إلى ما يلائم حاجة النبات مهماً حيث قد يكون البورون موجوداً على الصورة العضوية في مخلفات النبات أو الحيوان كما قد يكون في صورة بورون غير قابل للذوبان،

فتستطيع الكائنات الحية الدقيقة معدنة (Mineralization) أو تمثيل (Assimilation) عنصر البورون وبذلك يستطيع النبات الحصول على ما يحتاجه من كميات تلائم حاجته للنمو، كما تستطيع الكائنات الحية الدقيقة إحداث تغييرات في مركبات البورون بالعديد من التفاعلات الكيميائية والتي تشمل الأكسدة والاختزال أو العمليات الحيوية الإنزيمية أو غير الإنزيمية. وقد لوحظ أنه في علاقة النبات مع الفطرة لتكوين الجذر فطريات (Mycorrhiza) فإن النبات ينمو نمواً جيداً في وجود عنصر البورون مقارنة مع النبات عند عدم وجود الفطرة، وأن الكمية الزائدة عن حاجة النبات من هذا العنصر تحبس عند المنطقة الجذرية (Lambert *et al.*, 1980)، كما وجد (Hashem and Moslem,1995) أن الفطرة *Aspergillus flavus* وفطرة *Penicillium citrinum* والمعزولتين من تربة المملكة العربيةالسعوديةتستطيعان مقاومة ومراكمه عنصر البورون في الغزل الفطري لتراكيزتصل إلى (٣٥٠) جزء في المليون.

كما أوضحت العديد من الدراسات والأبحاث قدرة الكائنات الحية الدقيقة على التحولات المختلفة لعنصر البورون بالإضافة إلى المقاومة والامتصاص (Ashida, 1965; Gadd and Griffiths, 1978; Lokesha and Somashekar, 1990).

عنصرالزرنيخ (As) من العناصر المعدنية الصغرى (Micronutrients) كما أن النبات يحتاجه بكميات ضئيلة (Trace)، يوجد في مختلف أنواع التربة غير الملوثة في العالم بتركيز يتراوح بين (١ , ٠) إلى (٦٩) جزء في المليون، كما يوجد في التربة الملوثة بتركيز (١-٢٠٠٠) جزء في المليون (Kabata-Pendias and Pendias, 1985). وتكمن أهمية دراسة هذا العنصر فيما يسببه من العديد من المشكلات الصحية ومنها حالات التسمم التي تحدث للإنسان نتيجة لاستخدامه في العديد من الصناعات مثل المبيدات وصهر المعادن وصناعة الورق. ومعظم حالات التلوث بهذا العنصر سجلت بصفة خاصة في التربة اليابانية (Kitagishi and Yamane, 1981).

تستطيع العديد من الأنواع البكتيرية أكسدة هذا العنصر بالإضافة إلى قدرتها على إحداث عملية الميثلة (Methylation) والتي تؤدي إلى تطاير هذا العنصر، كما تلعب الكائنات الحية الدقيقة دوراً مهماً في حركة وترسيب عنصر الزرنيخ في التربة (Boylem and Jonasson, 1973).

ونظراً لأهمية هذا العنصر الذي يدخل في تركيب بعض مبيدات الحشرات والحشائش فإن التحولات الحيوية تساهم بشكل كبير في تلوث التربة والهواء بهذا العنصر . وفي التربة غير الملوثة فإن بعض النباتات تستطيع النمو في وجود عنصر الزرنيخ بتركيز من (٠,٠٠٩) إلى (١,٥) جزء في المليون، أما في بعض الترب الملوثة، فتستطيع بعض النباتات مثل الأرز (Rice) تحمل تراكيز تصل إلى (٧٧) جزء في المليون من عنصر الزرنيخ (Kitagishi and Yamane, 1981)، وهذا يؤكد بوضوح دور الكائنات الحية الدقيقة في التحولات المختلفة لهذا العنصر حيث تستطيع الكائنات الحية الدقيقة معدنة وتمثيل وتثبيت وتطاير عنصر الزرنيخ مما يقلل الأثر السام على نمو النباتات .

وقد لوحظ أن ورق الحائط المحتوي على صبغات الزرنيخ يساعد على نمو بعض الفطريات مثل أنواع من *Fusarium* و *Aspergillus* و *Paecilomyces* و *Scopulariopsis* والتي تعمل على انفراد مركبات الزرنيخ الطيارة مما يؤدي إلى حدوث تلوث بيئي (الكسندر، ١٩٨٢م) .

وقد أمكن عزل بعض أنواع من البكتيريا التابعة لأجناس *Pseudomonas* و *Xanthomonas* و *Arthrobacter* من أماكن تنظيف المواشي المحتوية على هذا العنصر، حيث تستطيع تلك البكتيريا أكسدة مركبات هذا العنصر (Weinberg, 1977) .

كما لاحظ (Ehrlich,1981) أن العديد من الكائنات الحية الدقيقة تستطيع أكسدة (Oxidation) واختزال (Reduction) مركبات الزرنيخ، وأن هذه تشمل بعض الأنواع البكتيرية مثل البكتيريا *Bacillus arsenoxydans* و *Achromobacter arsenoxydans-tres* و *Alcaligenes fucealis* و *Xanthomonas* spp. وبعض الفطريات مثل *Cladosporium herbarium* و *Candida humicola* و *Aspergillus* spp. و *Mucor* spp. و *Fusarium* spp. و *Paecilomyces* spp. و *Scopulariopsis brevicaulis* وبعض الطحالب مثل الطحلب *Chlorella* spp. وتستطيع تلك الكائنات الحية الدقيقة القيام بتلك التحولات المختلفة نتيجة للتفاعلات الحيوية بطرق إنزيمية أو غير إنزيمية .

كما وجد (Hashem, 1993 b) أن فطرة *Cladosporium herbarum* والتي عزلت من تربة المملكة العربية السعودية تستطيع النمو في تراكيز تصل إلى (٢٠٠) جزء في المليون من عنصر الزرنيخ، أيضاً لوحظ أنها تستطيع امتصاص وتراكم هذا العنصر ضمن غزلها الفطري بتركيز يصل إلى (٤٠٠) ميكروجرام/ جرام إذا نميت في بيئات سائلة محتوية على عنصر الزرنيخ. تستطيع بعض الأنواع البكتيرية مثل البكتيريا *E. coli* و *Staphylococcus aureus* مقاومة التراكيز العالية من هذا العنصر عن طريق استخدام مقاومة وراثية (Dyke and Parker,1970; Hedges and Baumberg,1973).

وفي الوقت الحاضر ما زالت العديد من المبيدات الفطرية ومبيدات الحشائش والتي تحتوي على مركبات الزرنيخ تستخدم للتخلص من الحشائش ومنها (Dimethylarsenic acid) وأيضاً (Methylarsenic acid) والتي تسبب تلوث للتربة والهواء (الكسندر، ١٩٨٢م)، كما تستطيع العديد من الكائنات الحية الدقيقة تمثيل تلك المبيدات ومبيدات الآفات الحشرية ومن تلك البكتيريا *Arthrobacter* spp. و *Bacillus* spp. و *Clostridium* spp. و *Flavobacterium* spp. ومن الفطريات الفطرة *Alternaria* spp. و *Aspergillus* spp. و *Fusarium* spp. و *Mucor* spp. و *Trichoderma* spp. (محمود وآخرون، ١٩٨٨م) ولا شك في أن تمثيل الكائنات الحية الدقيقة لتلك المبيدات والآفات الحشرية سوف يساهم بشكل كبير على زيادة نسبة التلوث البيئي لأن ذلك التحلل الميكروبي سوف يعمل على تكسير المبيد وتحلله تحللاً تاماً ثم إن نواتج ذلك التحلل سوف تتراكم في الوسط البيئي مسببة العديد من الأضرار والمشكلات البيئية للنبات أو للكائنات الحية الدقيقة الأخرى.

يوجد عنصر الزئبق (Hg) في التربة بتراكيز ضئيلة، كما سجل في بعض أنواع التربة بتركيز يصل من (٠,١٥) إلى (٤٠) جزء في المليون، أما في النبات فقد سجل بتركيز (٢,٦-٨٦) جزء في المليون، كما وجد أن بعض النباتات تستطيع مقاومة التراكيز العالية من هذا العنصر (Shacklette *et al.*, 1978)، أما التراكيز الضارة لعنصر الزئبق على بادرات الشعير فتصل إلى (٣) جزء في المليون (Kabata-Pendias and Pendias, 1985). كما لوحظ أن بعض الأشنات (Lichens) ونبات الجزر وبعض أنواع عيش الغراب تستطيع امتصاص التراكيز العالية من عنصر الزئبق (Kosta *et al.*, 1974)

أيضاً وجد أن بعض أنواع عيش الغراب الصالحة للأكل مثل *Agaricus bisporus* تستطيع مقاومة وتراكم عنصر الزئبق في أجسامها الثمرية (Fruting bodies) (Burnnet and Zadrazil, 1983)، أيضاً البكتيريا الخضراء المزرقة *Synechococcus* spp. ذات قدرة على النمو وتجنب التراكيز السامة من عنصر الزئبق (Huckle *et al.*1993). درس (Hashem, 1993b) أثر عنصر الزئبق على نمو الفطرة *Cladosporium herbarum* عندما نميت عند تراكيز تصل إلى (٢٥) جزء في المليون من هذا العنصر في البيئات السائلة، وقد وجد أنها تستطيع النمو في التراكيز المنخفضة (٥-١٠) جزء في المليون، أما التراكيز العالية (١٥-٢٥) جزء في المليون من عنصر الزئبق فقد أدت إلى تثبيط نمو الفطرة. كما لوحظ أن عنصر الزئبق يتحول إلى الصورة المعدنية المتطايرة بواسطة بعض الأنواع البكتيرية مثل البكتيريا *Staphylococcus aureus* و *Achromobacter* spp. و *Alcaligenes* spp. و *Acinetobacter* spp. (Komura *et al.*, 1970).

كما يجب ملاحظة أن النشاط الإنزيمي للكائنات الحيةالدقيقة في التحولات المختلفة لهذا العنصر مهمة. أما من ناحية تراكم هذا العنصر في الأجسام الثمرية (Fruting bodies) لبعض الفطريات، فقد وجد (Byrne *et al.*, 1976) أن بعض الأجسام الثمرية والتي جمعت من يوغسلافيا تحتوي على تراكيز من عنصر الزئبق تصل من (٠,٠٣٨) إلى (٦,٣٧) ميكروجرام/ جرام. وجد أيضاً أن هناك العديد من البكتيريا والفطريات والتي تستطيع اختزال كاتيونات عنصر الزئبق (Hg^{2+}) لتحوله إلى الصورة المعدنية (Hg°) (Kabata-Pendias and Pendias, 1985). كما درست ميكانيكية المقاومة لهذا العنصر على بعض الأنواع البكتيرية، فوجد أن تلك المقاومة يطلق عليها (Plasmid-determined) وهذه تستطيع إمداد هذا العنصر بكميات ملائمة من خلال خلايا معينة (Ehrlich, 1981).

لوحظت أيضاً ظاهرة إنتاج ميثيل الزئبق (Methylmercury) من كلوريد الزئبق (Mercuric chloride) قد سجلت في العديد من أنواع البكتيريا ومنها البكتيريا *E. coli* و *Pseudomonas fluorescens* و *Enterobacter aerogenes* وبعض الفطريات مثل الفطرة، *Aspergillus niger* و *Scopulariopsis brevicaulis* والخميرة *Saccharomyces cerevisiae*

. (Jernelov, 1975; Weinberg, 1977)

عنصر اليوارنيوم يوجد على هيئة أكاسيد معدنية مع الكثير من المعادن على القشرة الأرضية، وقد سجل تركيزه في بعض أنواع التربة في العالم بتركيز من (١ , ٠) إلى (٢١) جزء في المليون، أما في بعض النباتات فإن تركيزه (٥ , ٠–١٠٨) جزء في المليون (Kabata-Pendias and Pendias, 1985) . كما لاحظ (Tiffin, 1977) أن عنصر اليورانيوم متحداً مع البروتين يوجد في أوراق نبات *Coprosma australis* . وقد كشفت العديد من الأبحاث العلمية قدرة بعض الكائنات الحية الدقيقة على اختزان وتركيز عنصر اليورانيوم داخل خلاياها، فقد سجلت أنواع من الفطرة *Penicillium* احتوائها على (١٧ , ٠) مليجرام من هذا العنصر (Zajic and Chiu, 1972)، كما لوحظ الامتصاص الحيوي (Biosorption) لعنصر اليورانيوم بواسطة الفطرة *Rhizopus arrhizus* والفطرة *Penicillium chrysogenum* (Tsezos and Volesky, 1981) .

كما وجد أن الكيتين (Chitin) الموجود في الجدار الخلوي يعتبر المكان الملائم والمناسب للارتباط بعنصر اليورانيوم، تستطيع أيضاً بعض الأنواع الفطرية امتصاص هذا العنصر من بعض الصخور (Berthelin and Munier-Lamy, 1983)، كما تستطيع بعض الخمائر مثل *Saccharomyces cerevisiae* والبكتيريا *Pseudomonas aeruginosa* مراكمة عنصر اليورانيوم من بعض المحاليل المحتوية على اليورانيوم مثل (Uranyl nitrate) (Strandberg *et al.*, 1981) .

كما لوحظ أيضاً أن بعض الطحالب مثل الطحلب *Chlorella vulgaris* يستطيع أن يركّز ويختزن عنصر اليورانيوم (Nakajima *et al.*, 1982) . وقد اقترحت بعض الدراسات إمكانية استخدام بعض الكائنات الحية الدقيقة في عمليات التعدين (Mining) لعنصر اليورانيوم (Brieley *et al.*, 1980; Brierley and Brierley, 1980)، كما اقترحت بعض الأبحاث إمكانية استخدام بعض الكائنات الحية الدقيقة لإزالة العناصر المعدنية السامة من المحاليل المختلفة (Wainwright, 1992) .

ومن الأبحاث المهمة في هذا المجال، قدرة البكتيريا *Thiobacillus*

ferrooxidans على أكسدة ومراكمة عنصر اليورانيوم (Tuovnen and Kelly, 1974; Lundgren and Silver, 1980) .

قد يشترك عنصر السلينيوم في تركيب الأحماض الأمينية بدلاً من الكبريت، وعليه فإن تلك الأحماض الأمينية الحاوية على هذا العنصر تثبط من تكوين البروتينات (محمد، ١٩٧٧م). وعلى الرغم من اعتبار السلينيوم أحد العناصر الغذائية الهامة إلا أنه ذو تأثير سام على الإنسان والنبات والحيوان. أيضاً سجل تواجد عنصر السلينيوم (Se) في بعض الصخور بتركيز لا يزيد عن (٠٫٠٥) جزء في المليون، وفي بعض الأنواع المختلفة من التربة من العالم يتراوح تركيزه بين (٠٫١٥) إلى (٢٫٣٢) جزء في المليون، أما في النبات فإن تركيزه من (٢) إلى (١٣٠) جزء في البليون (Kabata-Pendias and Pendias, 1985) .

لوحظ أن بعض النباتات مثل *Astragalus* تستطيع مقاومة وامتصاص ومراكمة عنصر السلينيوم (Evans *et al.*, 1968) . وجد أن التراكيز العالية منه في النبات تؤدي إلى تثبيط تركيز بعض العناصر المعدنية مثل عنصر النيتروجين والفوسفور والنحاس والخارصين والحديد والكادميوم بالإضافة إلى بعض الأحماض الأمينية (Fiskesjo,1979 ; Singh 1982) . لوحظ أيضاً التلوث بعنصر السلينيوم في أماكن الصناعات وبالذات صهر المعادن حيث يتصاعد هذا العنصر إلى طبقات الجو، وأيضاً يحدث التلوث من الوقود الحجري، وتستطيع بعض النباتات البقولية وبالذات نبات *Sweet clover* النمو على رماد الوقود الحجري والذي يحتوي على تراكيز تصل إلى حوالي (٢٠٠) جزء في المليون (Gutenmann *et al.*, 1976) أن بعض الأنواع الصالحة للأكل من فطريات عيش الغراب مثل *Agaricus bisporus* تستطيع أن تختزن (٢٫١١) جزء في المليون من عنصر السلينيوم داخل اجسامها الثمرية (Quinche, 1979) . وتستطيع بعض الكائنات الحية الدقيقة معدنة السلينيوم ومنها البكتيريا *Clostridium* spp. و *Corynebacterium* spp. و *Micrococcus* spp. والفطرة *Candida* spp. حيث يترسب هذا العنصر على هيئة حبيبات حمراء داخل الخلايا الميكروبية، توجد العديد من الكائنات الحية الدقيقة والتي تستطيع القيام بعملية الميثلة (Methylation) ومنها البكتيريا *Corynebacterium* وبعض أنواع الفطريات من

أجناس *Aspergillus* و *Penicillum* و *Fusarium* و *Cephalosporium* (الكسندر، ١٩٨٢م).

لوحظ أن الفطرة *Candida albicans* تحتوي على إنزيم (Selenite reductase) والذي يستطيع اختزال مركبات هذا العنصر إلى السلينيوم المعدني، وأن هذا الإنزيم أيضاً مهم في العديد من التفاعلات الحيوية (Ehrlich, 1981). ووجد أن الفطرة *Penicillum* والتي عزلت من مخلفات الصرف الصحي (Sewage) ذات قدرة عالية على تحويل ومعدنة مركبات السلينيوم، وتستطيع بعض الكائنات الحية الدقيقة مثل البكتيريا *E. coli* و *Pseudomonas aeruginosa* و *Aeromonas* spp. و *Flavobacterium* spp. أن تعمل على تركيز حبيبات عنصر السلينيوم داخل السيتوبلازم الخلوي (Weinberg, 1977).

من هذا تتضح أهمية وجود سلسلة من التحولات المختلفة للعناصر المعدنية بواسطة الكائنات الحية الدقيقة، لأن تلك السلسلة من توفير التحولات تسهم بشكل كبير في توفير الكميات الملائمة من المتطلبات الضرورية من العناصر المعدنية اللازمة للكائن الحي وأيضاً فإن عمليات المعدنة تعمل على إتاحة العناصر المعدنية وتحللها بواسطة تفكك وتحلل المركبات العضوية والمخلفات النباتية والحيوانية، كما أن تمثيل العناصر المعدنية داخل البروتوبلازم الخلوي للكائنات الحية الدقيقة وعمليات الأكسدة والاختزال وثبوت المعادن سوف تؤدي جميعها إلى إحداث التوازن البيئي داخل النظام البيئي (Ecosystem) وأيضاً إلى توازن التفاعلات والتغيرات الحيوية (ابن صادق، ١٩٩٢م، أ١٩٩٧م، ١٩٩٨م).

الفصل الثامن عشر

التحولات الميكروبية لمعادن مخلفات الصرف الصحي والمبيدات

تعتبر مخلفات الصرف الصحي (Sewage) في الوقت الحاضر من أهم المشكلات البيئية التي تواجه المختصين في مجال التلوث البيئي. والماء يعتبر عصب الحياة الرئيسي مصداقاً لقول الله تعالى: ﴿وجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ﴾ [الأنبياء: ٣٠]. فالإنسان لا يستطيع بأي حال من الأحوال الاستغناء عن الماء في جميع أمور حياته اليومية. ونتيجة لرفاهية الإنسان والتطور الصناعي في جميع المجالات أصبح الإنسان المتسبب الرئيسي لتلوث الماء، وامتد هذا التلوث ليشمل الأنهار والبحار والمحيطات وجميع المصادر المائية بلا استثناء. وحالياً فإن الفرد يستهلك كمية كبيرة من الماء في احتياجه اليومي، فقد قدرت كمية تلك المياه فعلى سبيل المثال في استنبول يستهلك الفرد حوالي (٢٥٠) لتر من الماء يومياً أما في لندن فيستهلك حوالي (٣٠٠) لتر وفي موسكو فانه يستهلك (٥٠٠) لتر يومياً، كما قدرت في القاهرة ودمشق بحوالي (٢٠٠) لتر من الماء يومياً، هذا عن استهلاك الفرد فماذا عن استهلاك المياه في الصناعات واعمال التنظيف والصيانة وغيرها؟. لكن المشكلة الأساسية لا تقتصر على استهلاك الفرد من الماء وانما تتمثل في تحول ذلك الماء إلى ما يسمى بمياه الصرف الصحي (Sewage). فمياه المجاري أو الصرف الصحي عبارة عن المحصلة النهائية للأنشطة المختلفة للإنسان والتي يتحول فيها الماء إلى مخلفات تحتوي على جميع المركبات الكيميائية ومخلفات النفط ومشتقاته

والمخلفات النباتية والأسمدة والمبيدات ومواد التنظيف ومخلفات المستشفيات وغير ذلك، ثم تتحول تلك المخلفات إلى مركبات معقدة ذات خصائص وصفات تخالف المركبات الأصلية نتيجة لحدوث العديد من التفاعلات الكيميائية والبيولوجية تؤدي إلى تحولها وتغيرها (ابن صادق، ١٤١٠هـ).

وينتج عن تلك المخلفات ازدهار العديد من الكائنات الحية الدقيقة والتي تعتبر تلك المخلفات بالنسبة لها المكان الملائم والمناسب للنمو والأنشطة الميكروبية المختلفة. وتتكون مخلفات الصرف الصحي من الماء الملوث بالإضافة إلى الحمأة (Sludge) أو المادة الصلبة. فالماء الملوث يحتوي على العديد من الكائنات الحية الدقيقة مثل البكتيريا *E. coli* و *Bacillus* spp. و E. aerogenes و *Shigella* spp. و *Salmonella* spp. و *Vibrio* spp. و *Yersinia* spp. والعديد من الفطريات والأوليات، وتلك الكائنات الحية الدقيقة تحدث أضراراً اقتصادية وصحية للإنسان والنبات والحيوان.

وتقوم بعض الكائنات الحية الدقيقة بأكسدة المواد العضوية الموجودة في مياه مخلفات الصرف الصحي وتحتاج إلى الأكسجين الذائب والذي يطلق عليه المتطلب الأكسجيني الحيوي (Biological oxygen demand) وهو كمية الأكسجين الذائب المستهلك في العمليات البيولوجية للكائنات الحية الدقيقة من أجل أكسدة المواد العضوية الموجودة في مخلفات الصرف الصحي في الظروف الهوائية، كما أن طرح كميات كبيرة من تلك الفضلات إلى الماء يسهم في التأثير على الكائنات الحية المائية ويلحق بها العديد من الأضرار ويتسبب أيضاً في التأثير على نسبة المتطلب الأكسجيني الكيميائي (Chemical oxygen demand) وهو عبارة عن كمية الأكسجين الذائب المستهلك في أكسدة المخلفات العضوية الموجودة في مخلفات الصرف الصحي (خلف، ١٩٨٧م).

وقد أجريت العديد من الأبحاث والدراسات في مختلف أنحاء العالم لتوضيح ما تحتويه مخلفات الصرف الصحي من معادن ثقيلة سامة، كما كشفت عن دور الكائنات الحية في تحولات تلك العناصر المعدنية (ابن صادق، ١٤١٢هـ).

وهذه المشكلة كما أسلفنا تعتبر في الوقت الحالي من أكثر المشكلات التي تحظى بعناية المهتمين بشئون البيئة لأنها تزداد يومياً وبطريقة سريعة لا تمكن المختصين من وضع الحلول لها، كما أن العناصر المعدنية السامة في مخلفات الصرف الصحي ذات أثر ضار على صحة الإنسان بالإضافة إلى أثرها الضار على التفاعلات البيولوجية والبيئية.

سجل (Jenkins and Cooper, 1964) أن التحليل المعدني للحمأة (Sludge) يحتوي على نسبة عالية من النحاس والنيكل والخارصين والحديد (٣٧٣٠و ٦٨٠٠ و ٦٠٠٠ و ٣٤٤٠٠ ميكروجرام/ جرام على التوالي)، كما وجد (Webber, 1972) أن الحمأة تحتوي على ١٥٠٠ و ٢٦٠٠ و ٢٥٠٠ و ٣٠٠٠ ميكروجرام/ جرام من عنصر الكادميوم والكوبالت والمنجنيز والرصاص على التوالي.

وعلى ضوء استمرار تكدس مخلفات الصرف الصحي مع قلة طرق التخلص منها سوف تساهم بشكل كبير على زيادة تركيز تلك العناصر المعدنية السامة. كما لوحظ أن استخدام الحمأة في عمليات التسميد المختلفة تزيد من تركيز العناصر المعدنية السامة في المنتجات الزراعية، فقد وجد (Le Riche, 1968) زيادة نسبة عنصر النحاس والنيكل والخارصين في المنتجات الزراعية بعد استخدام مخلفات الصرف الصحي كسماد، أيضاً لاحظ (Berrow and Webber, 1972) (ابن صادق، ١٤١٩أ هـ) أن جميع مخلفات الصرف الصحي تحتوي على نسبة عالية من عنصر الحديد والنحاس والخارصين والنيكل والكادميوم والمنجنيز والرصاص والكوبالت.

وهذه المشكلة تزداد خطورة في المدن الصناعية نظراً لأن مخلفات الصرف الصحي تحتوي على كميات كبيرة من المركبات الكيميائية والتي يدخل في تركيبها العديد من العناصر المعدنية الثقيلة بالإضافة إلى ما يلقى من مخلفات منزلية، وقد أمكن ملاحظة زيادة نسبة التلوث في بعض المدن الصناعية في أماكن مختلفة من العالم مثل السويد وبريطانيا وأمريكا (Lunt,1953; Kaplovsky and Genetelli, 1973; Dean and Lund, 1981).

أما في المملكة العربية السعودية فقد لاحظ (Hashem, 1995c) أن مخلفات الصرف الصحي (الحمأة) والتي جمعت من أماكن مختلفة من مدينة الرياض تحتوي

على نسبة عالية من عنصر الألومنيوم (٣٥٩ ميكروجرام/ جرام) وأيضاً على بعض العناصر الاخرى مثل الكادميوم والكوبالت والنحاس والمنجنيز والنيكل والخارصين والرصاص (٢٤ و ٣٩ و ٤٥ و ٣٧ و ٥٣ و ٣٠ ميكروجرام/ جرام على التوالي)، وهذه النسبة وإن كانت أقل من المعدلات في أماكن مختلفة من العالم إلا أنه يمكن اعتبارها ذات أثر ضار نتيجة لزيادة التركيز للعناصر المعدنية المذكورة إذا لم تتبع الطرق العلمية الصحيحة في التخلص من تلك المخلفات الضارة. أيضاً وجد (Hashem , 1996a) أن التحليل المعدني لتركيز مخلفات الصرف الصحي (الحمأة) لمدينة ينبع الصناعية يزيد كثيراً نسبة عن الموجودة في مدينة الرياض، فكانت نسبة الحديد (٨٢٠) ميكروجرام/ جرام تليها العناصر الأخرى مثل الكوبالت والنحاس والمنجنيز والنيكل والرصاص والخارصين (٢٦٣ ر ٨٠ ر ٨٨ ر ١٠٣ ر ١٨٥ ر ١٨٩ ر ٢٧١ ميكروجرام/ جرام على التوالي) وهذا أيضاً يوضح أثر الصناعات المختلفة على زيادة نسبة العناصر المعدنية في مخلفات الصرف الصحي.

تحتوي مخلفات الصرف الصحي على العديد من الكائنات الحية الدقيقة والتي تسهم بشكل كبير في التحولات المختلفة لتلك المخلفات وما تحتويها من مركبات مختلفة وبالذات العناصر المعدنية السامة. فتوجد الأنواع المختلفة من البكتيريا اللاهوائية والهوائية بالإضافة إلى بعض الفطريات والأوليات والكائنات الحية الدقيقة الأخرى والتي تقوم بتحليل المواد العضوية والتي تنطلق منها العناصر المعدنية ثم إن هناك بعض الأنواع من الكائنات الحية الدقيقة تستطيع القيام بعمليات التمثيل (Assimilation) المختلفة والاحتفاظ ببعض العناصر المعدنية داخل البروتوبلازم الخلوي وهناك مجموعات تقوم بعمليات الأكسدة والاختزال (Oxidation and reduction) للعناصر المعدنية بالإضافة إلى مجموعات أخرى تسهم في عمليات المعدنة (Mineralization) وتلك العمليات الحيوية المختلفة تسهم إلى حد كبير في الإستفادة من العناصر المعدنية الموجودة في مخلفات الصرف الصحي.

وفي الوقت الحاضر هناك العديد من الاتجاهات والأفكار للاستفادة من إزالة التلوث المعدني باستخدام الكائنات الحية الدقيقة، فقد لاحظ (Gadd,1992) أنه يمكن استخدام تلك التقنية في إزالة العناصر المعدنية السامة غير المرغوب فيها من المحاليل

المختلفة ومخلفات الصرف الصحي، وتعتمد هذه الطريقة على قدرة بعض الفطريات على ادمصاص بعض العناصر المعدنية، وذلك بإمرار المحلول المحتوي على العناصر المعدنية السامة على مرشحات تحتوي على بعض محتويات الجدار الخلوي لبعض الفطريات مثل مادة الكيتين (Chitin) التي تعتبر مادة شديدة القابلية للالتصاق بالعناصر المعدنية السامة، كما أنها إحدى الطرق الهامة لميكانيكية التخلص من الأثر الضار للعناصر المعدنية السامة بواسطة الفطريات، حيث تستطيع الفطريات بهذه الطريقة النمو في التراكيز العالية من بعض العناصر المعدنية السامة، وقد وجد (Hashem, 1989) أن الفطرة *Aspergillus niger* والفطرة *Penicillium chrysogenum* تستطيعان النمو في تراكيز عالية من عنصر النحاس تصل الى (٥٠٠) جزء في المليون استناداً إلى وجود مادة الكيتين شديدة القابلية للالتصاق بعنصر النحاس السام، كما لاحظ أيضاً (Hashem, 1993 b) أن الفطرة *Cladosporium herbarum* تستطيع امتصاص ومراكمة عنصر الزرنيخ ضمن أغشيتها الخلوية.

وقد تمكن (Gadd, 1992) من إزالة الأثر السام لعنصر الثوريوم (Thorium) باستخدام الفطرة *Rhizopus arrhizus* و *Aspergillus niger* عن طريق استخدام مفاعل حيوي (Bioreacter) فقد لاحظ أن نسبة إزالة عنصر الثوريوم من المحلول بلغت (٩٠٪ - ٩٥٪)، أيضاً فقد وجد (Wainwright *et al.*, 1986) أن بعض الفطريات تستطيع إزالة الاثر السام لبعض العناصر المعدنية عن طريق عملية الادمصاص (Adsorption) للأيونات غير الذائبة في المحلول، كما تستطيع الفطريات الجذرية أيضاً التخلص من التركيزات العالية من بعض العناصر المعدنية السامة إذا استخدمت مخلفات الصرف الصحي كسماد، فقد لاحظ (Hashem, 1995d) أن الفطرة *Hymenoscyphus ericae* ذات قدرة عالية على مقاومة التركيزات المرتفعة من عنصر المنجنيز، كما أنها تساعد على نمو بعض النباتات مثل نبات *Vaccinium macrocarpon* وتجنب النبات الأثر السام لعنصر المنجنيز(Mn).

إذاً يمكن القول أنه يمكن استخدام مخلفات الصرف الصحي كسماد ويمكن بعد تعريضها للعمليات المختلفة من المعالجة الكيميائية بالإضافة إلى المعالجة الميكروبيولوجية والتي تساهم بشكل كبير في التقليل والتخلص من الآثار السامة

للعناصر المعدنية الثقيلة، كما أمكن عزل العديد من الكائنات الحية الدقيقة من مخلفات الصرف الصحي من أماكن مختلفة من العالم ووجد أنها ذات قدرة عالية على تحليل وهضم تلك المخلفات وتحويلها إلى مركبات أقل تعقيداً ويستفيد منها الكائن الحي الدقيق للنمو باتباع الطرق المختلفة من التحولات السابق ذكرها. ونظراً لأن العناصر المعدنية الموجودة في مخلفات الصرف الصحي تكون مرتبطة بالمادة العضوية لذا لا بد من تفكيك وتحليل تلك المركبات العضوية اعتماداً على نشاط الكائن الحي الدقيق بالإضافة إلى ما يحيط به من عوامل بيئية تساعد كثيراً على تلك العملية.

أما المبيدات المختلفة فبعضها عبارة عن مركبات هيدروكربونية محورة بالإضافة إلى بعض العناصر المعدنية، وتستطيع العديد من الكائنات الحية الدقيقة تحليل تلك المبيدات وتحويلها إلى مركبات غير سامة. ومبيدات الآفات (Pesticides) تعتبر في الوقت الحاضر من أهم وأكثر المركبات الكيميائية استخداماً للتخلص من الحشرات أو الحشائش أو بعض الكائنات الحية الدقيقة غير المرغوب فيها، وقد امتدت الدراسات في هذا المجال لتشمل الآثار الضارة لتلك المبيدات على الخصائص البيئية بالإضافة إلى تحللها بواسطة الكائنات الحية الدقيقة.

وتضاف تلك المبيدات إلى التربة بمعدلات عالية للتخلص السريع من الأضرار الناتجة عن نمو بعض الحشائش أو الحشرات وغيرها، وتحت ظروف بيئية معينة فإن بعضاً من تلك المبيدات تتحلل بفعل الأنشطة الميكروبية أما الجزء الآخر فقد يبقى في التربة دون تحلل كما قد ينتقل إلى الماء والهواء.

وفي الأسواق العديد من تلك المبيدات والتي تحمل أسماء مختلفة ويرمز لها أحياناً بحروف مختصرة ومنها المبيد (DDT) و (Thiram) و (Dalapon) و(Photrate) و (PCNB) و (2,4-D) إلى غير ذلك من الأنواع المختلفة.

وعند إضافة المبيد إلى التربة فإن هناك العديد من التحولات البيولوجية والبيئية التي تساهم بشكل كبير في تغيير خاصية ذلك المبيد، اعتماداً على تركيزه وتركيبه الكيميائي، ثم بعد ذلك تلعب الكائنات الحية الدقيقة دوراً فعالاً في التحولات المختلفة لذلك المبيد فتحوله إلى مركب ذي خصائص تختلف تماماً عن

الخصائص الأولية ثم تعمل على تفكيكه وتحليله إلى جزيئات تستطيع غرويات التربة ادمصاصها أو تحليلها مائياً لتنطلق منها العناصر المعدنية التي تدخل في تركيب المبيد لتقوم كائنات حية دقيقة أخرى بالتحولات المختلفة لها والتي تشمل المعدنة والتمثيل والثبوت والذوبان (المصلح والحيدري، ١٩٨٣م).

وبعض المبيدات تحتوي على عنصر الكبريت وبعضها على عنصر الكلور كما تحتوي أيضاً على عنصر الزرنيخ (As)، ومن هنا تتضح أهمية الكائنات الحية الدقيقة في الحد من سمية تلك العناصر المعدنية، ومن أكثر الكائنات الحية الدقيقة قدرة على تحلل المبيدات وتفككها بعض أنواع البكتيريا التباعة لأجناس *Bacillus* و*Agrobacterium* و*Xanthomonas* و *Pseudomonas* و *Clostridium* و *Flavobacterium* ومن الفطريات أنواع من أجناس *Aspergillus* و *Alternaria* و *Cladosporium* و*Mucor* و*Pencillium* و *Fusarium* ومن الأكتنومايستيس أنواع من أجناس *Nocardia* و *Streptomyces* و *Microcomonospora* (الكسندر، ١٩٨٢م).

ولأن أغلب المبيدات يدخل في تركيبها المركبات الحلقية و الهالوجينات والكبريت والفوسفور والنيتروجين فإن هناك علاقة وطيدة بين المبيدات التي تضاف للتربة والكائنات الحية الدقيقة، فقد تعمل العديد من المبيدات على إحداث الأضرار للكائنات الحية الدقيقة الموجودة في التربة، نتيجة لزيادة تراكيز بعض تلك المركبات السابق ذكرها عن حاجة الكائن الحي الدقيق.

وعموماً فإن العلاقة بين المبيد والكائن الحي الدقيق قد تكون ذات تأثير ضار على العمليات والأنشطة المختلفة للكائن الحي الدقيق، كما قد تعمل الكائنات الحية الدقيقة على إحداث بعض التغييرات على المبيد مما يؤدي إلى تقليل فاعليته الوظيفية عن طريق المعدنة أو تثبيط أو تنشيط لبعض الجزيئات (محمود وآخرون، ١٩٨٨م).

كما لوحظ أن هناك العديد من الاختلافات في تحلل المبيدات ومقاومتها بواسطة الكائنات الحية الدقيقة وهذا يؤدي في النهاية إلى زيادة التلوث البيئي.

فعلى سبيل المثال فإن مبيد الحشائش (2,4-D) عند إضافته للتربة فإن العديد من الكائنات الحية الدقيقة تستطيع أكسدته، وقد لوحظ أن تحلله عبارة عن عمليات بيولوجية ميكروبية حيث أنه لم يتحلل في التربة المعقمة، كما أمكن عزل بعض

الكائنات الحية الدقيقة النشطة في تحلل هذا المبيد ومنها أنواع من البكتيريا *Arthrobacter* و *Achromobacter* و *Corynebacterium* و *Flavobacterium* (محمود وآخرون، ١٩٨٨م).

كما أن الكائنات الحية الدقيقة قد تعمل على تحويل المبيد من مبيد غير سام إلى مبيد سام، كما قد تعمل على تحويله من مركب سام إلى مركب غير سام وقد تحوله إلى مركب يختلف عن المركب الاصلي.

وعموماً فإن الكائنات الحية الدقيقة قد تعمل على التخلص من المبيد بواسطة التحلل (Degradation) وقد تعمل على إزالة سميته (Detoxification) كما قد تعمل على تنشيطه (Activation) وأيضاً قد تساهم على إحداث تفاعلات إضافية (Additive reaction) (الكسندر، ١٩٨٢م).

يتضح من السابق أن للكائنات الحية الدقيقة دوراً مهماً ورئيسياً في التحولات المختلفة التي تحدث لمخلفات الصرف الصحي ومبيدات الآفات حيث تساهم بشكل كبير في التخفيف من الآثار الضارة لتلك المخلفات والمبيدات والتي تحتوي على كميات كبيرة من بعض العناصر المعدنية السامة، وأيضاً يجب الاهتمام بالدراسات البيولوجية المختلفة في مجال استخدام مخلفات الصرف الصحي في عمليات التسميد المختلفة وأيضاً استخدام التطبيق العملي قبل البدء في استخدام بعض المبيدات وملاحظة آثارها المختلفة على الأنشطة المختلفة للكائنات الحية الدقيقة (Hashem, 1995c).

الفصل التاسع عشر

دور الكائنات الحية الدقيقة
في تكوين النفط

نظراً لأن النفط ومشتقاته من أهم المتطلبات المصاحبة للإنسان في حياته اليومية كان لا بد من إلقاء الضوء على دور الكائنات الحية الدقيقة في تكوين النفط والذي يعتبر المحصلة النهائية للتحولات المختلفة التي تقوم بها الكائنات الحية الدقيقة والتي تشمل تحلل المخلفات النباتية والحيوانية تحت الطبقات السفلى من القشرة الأرضية. وعند تحليل النفط وجد أنه يتكون من مركبات هيدروكربونية ونيتروجينية وكبريتية وبعض المركبات المعدنية. وقد تكوّن النفط تحت سطح الأرض نتيجة للعديد من التفاعلات التي طرأت على المكونات الأساسية لمخلفات النباتات والحيوانات والتي منها المناخ الحراري والضغط المناسب والتي تساهم مع النشاط الميكروبي بدرجة كبيرة في تفكك تلك المواد العضوية وتحولها عبر ملايين السنين لتكوين النفط (ابن صادق، ب ١٤١٣هـ).

وعلى الرغم من أن معظم المركبات الكربونية في الهواء يحدث لها إعادة تدوير (Recycled) في التفاعلات المختلفة وهناك جزء من تلك المركبات الكربونية يحدث له احتباس بين طبقات التربة السفلى وبعيداً عن المعدنة بواسطة الكائنات الحية الدقيقة حتى إذا توفرت الظروف الملائمة عبر ملايين السنين يتحول إلى ما يسمى بالوقود الحجري (Fossil fuel) والتي ينتج عنه فيما بعد العديد من المشتقات مثل النفط والزيت الحجري (Shale oil) وغاز الميثان والغاز الطبيعي (Natural gas) والفحم.

وقد وضعت العديد من النظريات والتي أكدت أنه من خلال دراسة خواص النفط وجد بأنه من المحتمل أنه تكوّن أصلاً من مواد عضوية. ومن أهم تلك النظريات، النظرية البيولوجية، والتي فسرت وجود ترسبات نفطية غنية بأنواع عديدة جداً من البكتيريا اللاهوائية وبالذات التي تختزل الكبريت (النخال، ١٩٨٧م).

وأثبتت الدراسات التي أجريت في أماكن مختلفة من العالم أن غاز الميثان (CH_4) تكوّن تحت طبقات التربة نتيجة للنشاط الميكروبي للعديد من البكتيريا ومنها *Methanococcus* و *Methanobacterium* و *Methanobrevibacter* و *Methanomicrobium*، وتحت ظروف معينة تستطيع أنواع أخرى من البكتيريا أكسدة الميثان إلى ثاني أكسيد الكربون وماء ومنها البكتيريا *Methylosomonas* و *Methylococcus* و *Methylobacter* و *Methylosinus*.

وتعتبر الكائنات الحية الدقيقة التي تقوم بعمليات أكسدة الميثان إلى ثاني أكسيد الكربون والماء مهمة في العديد من التحولات المختلفة التي تحدث للمركبات الكربونية والتي توجد في الطبيعة على هيئة العديد من الصور المختلفة. كما أن الميثان الموجود في النفط والفحم لا بد لانطلاقه من حدوث تلك التفاعلات الميكروبية عن طريق سلسلة من المسارات الأيضية. وقد كشفت العديد من الدراسات المتعلقة بعلم الأحافير عن وجود آثار لبعض الأنواع البكتيرية التي تقوم بأكسدة غاز الميثان.

أما المخلفات النباتية المغمورة تحت باطن الأرض فقد حدث لها العديد من التغيرات الجيولوجية المصاحبة للأنشطة المختلفة للكائنات الحية الدقيقة فتحولت إلى ما يعرف بالفحم (Coal). وتعتبر البكتيريا والفطريات من أهم الكائنات الحية الدقيقة قدرة على تفكك وتحلل المخلفات النباتية والتي تحتوي على العديد من المركبات العضوية والسكريات والأحماض الأمينية والأحماض المتطايرة والتي تضاف باستمرار إلى طبقات الأرض المختلفة وتساهم بدرجة كبيرة في تكوين النفط. وقد لاحظ روجوف وأخرون (Rogoff *et al.*, 1962) وجود بعض الجراثيم الفطرية والبكتيرية المتحجرة على بعض مخلفات الفحم، كما تم عزل العديد من الفطريات والبكتيريا من الأنواع المختلفة من الفحم مثل الفطرة *Trichoderma* و

Penicillium و *Aspergillus minor* و *Fusarium* و *Mucor* وأنواع مـن البكتـــيـــريا *Pseudomonas* و *Bacillus* و *Thiothrix*.

قام (Darland *et al.*, 1970) بعزل البكتيريا *Thermoplasma acidophilus* وهي من الكائنات الحية الدقيقة التي تنمو في الأوساط الحامضية من بعض نفايات الفحم، كما لاحظ بأنها تفضل درجات حرارة عالية لنموها تتراوح بين (٤٥-٦٢°م)، أما الرقم الهيدروجيني للتربة (PH) لنموها فهو يتراوح بين (١-٢).

واستناداً إلى السابق فإن نمو تلك الكائنات الحية الدقيقة ووجودها في مخلفات الفحم تؤكد الدور الفعال في تكون النفط، كما أن الاستخدامات المختلفة في الوقت الحاضر أو ما يسمى التقنية الحيوية للفطريات في صناعة الورق وإذابة الفحم يؤكد أهمية تلك الكائنات الحية الدقيقة في تحلل وتفكك المخلفات النباتية وتكوين النفط (ابن صادق، جـ١٩٩٧م).

كما أمكن ملاحظة أن الفطرة *Polyporus versicolor* تستطيع النمو على بيئة الأجار المحتوية على قطع من الفحم (Cohen and Gabriele; Scott and Lewis, 1991 1982).

وعمليات إذابة الفحم وتليينه بواسطة الكائنات الحية الدقيقة تساهم بشكل كبير في الاستفادة من نواتج عمليات الإذابة تلك والتي تدخل إلى العديد من الاستخدامات الكيميائية المختلفة، كما أن استخدام خليط من الكائنات الحية الدقيقة في تلك العمليات سوف يؤدي إلى نتائج أفضل، فيمكن استخدام خليط من الفطريات والبكتيريا في عمليات إذابة الفحم. أيضاً أمكن ملاحظة أن الفطرة *Curvularia* والفطرة *Penicillium* تستطيعان تحويل الفحم إلى العديد من المركبات مثل غاز الميثان وبعض الهيدروكربونات وثاني أكسيد الكربون (Ekwenchi *et al.*, 1990).

وتعتبر البكتيريا اللاهوائية من الكائنات الحية التي ساهمت في تكوين النفط نتيجة لتراكم الأحماض العضوية ومخلفات النباتات والحيوانات والبروتينات والأحماض الأمينية تحت الطبقات السطحية من الأرض. كما أن تحرك النفط والغاز الطبيعي عبر الصخور يعود إلى النشاط الميكروبي والذي أمكن الاستدلال عليه عن طريق الكشف عن البكتيريا المؤكسدة للنفط ومكوناته، ومن تلك البكتيريا *Desulfovibrio desulfuricans* و *Desulfotomaculum nigrificans* و *Methanococcus*

Rhodospseudomonas و *Methanobacterium omelianski* و *Sarcina methnica* و *mazei*
. (Kuzenestv *et al.*, 1963; Rozanova, 1971; Nazian and Rozanova, 1978) *palustris*

كما أن البكتيريا المؤكسدة للكبريت تعتبر من أكثر الكائنات الحية الدقيقة التي عزلت من الطبقات الملاصقة للترسبات النفطية وهذا يؤكد دور الكائنات الحية الدقيقة في تكوين النفط (Ashirov and Sazanova, 1962) .

وفي الوقت الحاضر قد اتجهت الدراسات والأبحاث المختلفة في مجال التقنية الحيوية إلى إنتاج بعض الأنواع البكتيرية ذات القدرة على تحفيز إنتاج النفط غير القابل للاستخراج من باطن الأرض، ذلك لأن هناك نسبة كبيرة من النفط الخام تبقى ملتصقة في الصخور المخزنة له. ومن أكثر الأبحاث في هذا المجال تلك التي قامت بها مجموعة من الباحثين في جامعة كانبيرا باستراليا والتي أطلق عليها اسم التحفيز البيولوجي للنفط، فقد أمكن عن طريق استخدام بعض الكائنات الحية الدقيقة إيجاد زيادة في نسبة النفط الخام المستخلص من الصخور.

وعمليات التحفيز الحيوي تلك تعتمد على ضخ بعض المتطلبات الغذائية عبر آبار النفط والتي لها خاصية تغيير الجدار الخلوي للخلية البكتيرية بحيث تستطيع الالتصاق بحبيبات النفط الملتصقة بالصخور وبذلك يمكن استخلاص كميات كبيرة من النفط.

ومن الشواهد الأخرى على أن النفط تكون نتيجة للأنشطة البيولوجية للكائنات الحية الدقيقة ما لاحظه (Ehrlich, 1981) من أن هناك بعض الفطريات والبكتيريا لها القدرة على تحليله وتحويله إلى مركبات أقل تعقيداً، ومن تلك الكائنات الحية الدقيقة أنواع من البكتيريا *Pseudomonas* و *Trichosporon* و *Brevibacterium* و *Arthrobacter* والفطرة *Cladosporium* و *Nocardia*.

أما البكتيريا *Pseudomonas cepacia* فتستطيع استخدام مصادر عديدة من مصادر الكربون والطاقة من المصادر المختلفة مثل المركبات الهيدروكربونية التي توجد في النفط ومشتقاته بكميات كبيرة، كما تم عزل أنواع كثيرة من البكتيريا التي تستوطن آبار النفط مثل أنواع من البكتيريا *Pseudomonas* و *Acinetobacter*.

لوحظ أيضاً أن البكتيريا *Pseudomonas methanica* تستطيع أكسدة البيوتان

(Butane) إلى حمض البيوتانويك (Butanoic acid)، وهذا يؤكد أيضاً قدرة الكائنات الحية الدقيقة على النمو على النفط ومشتقاته المختلفة (Ehrlich, 1981)، كما وجد (Kuzenetsova and Gorlenko, 1965) أن البكتيريا *Pseudomonas* spp. يمكنها النمو في البيئات المحتوية على الأملاح المعدنية بالإضافة إلى النفط كمصدر للكربون.

ومن الدلائل الأخرى في تكوين النفط بواسطة النشاط الميكروبي ما لاحظه (Davis, 1967) من أن هناك بعض البكتيريا اللاهوائية تستطيع أكسدة الإيثان والبروبان (Ethane and Propane) والإستفادة منها في العمليات الحيوية المختلفة ومن تلك البكتيريا *Mycobacterium parafinicum* و *Streptomyces* spp. ولا تقتصر تلك التحولات للنفط تحت الأرض بواسطة الكائنات الحية الدقيقة اللاهوائية، فعندما يتسرب النفط عبر الصخور إلى الطبقات العليا من التربة هناك بعض الكائنات الحية الدقيقة النشطة في تحولات النفط المختلفة والتي تشمل بعض الأنواع البكتيرية والفطريات، فقد لاحظ (Razanova and Shturm, 1965) أن بعض البكتيريا والفطريات مثل *Mycobacterium* spp. و *Penicillum* spp. تستطيع أكسدة بعض مركبات البارافين (Parafene) والاستفادة منها في بناء البروتوبلازم الخلوي.

وختاماً يمكن القول أن ليس كل الكربون يصعد إلى الهواء الجوي ليدخل في دورة تستفيد منها الكائنات الحية، وإنما هناك جزء يحتبس داخل طبقات الأرض ليتعرض للأنشطة الميكروبية المختلفة بمساعدة العوامل البيئية الأخرى فيتحول جزء منه إلى غاز الميثان والجزء الآخر إلى الفحم وجزء إلى النفط ولا ينتهي دور الكائنات الحية الدقيقة عند هذا الحد وإنما هناك كائنات حية دقيقة أخرى تسهم بشكل كبير في التحولات المختلفة للنفط ومشتقاته.

وتؤكد تلك الدلائل والمؤشرات المختلفة والتي أوضحت قدرة الكائنات الحية الدقيقة على استخدام المصادر المختلفة للنفط ومشتقاته كمصدر للكربون والطاقة أهمية تلك الكائنات في تكوين النفط (ابن صادق، ١٤١٣هـ).

الفصل العشرون

التحولات الميكروبية للنفط ومشتقاته وإزالة التلوث النفطي

تتعرض العناصر البيئية إلى اختلال شديد في توازنها نتيجة للاستخدام المستمر للنفط ومشتقاته. والنفط يتكون من خليط من المركبات الهيدروكربونية المعقدة بالإضافة إلى مركبات نيتروجينية وكبريتية وأكسجين وبعض المركبات المعدنية. وتستطيع العديد من الكائنات الحية الدقيقة استخدام بعض الهيدروكربونات مثل البرافين وزيوت التشحيم والكيروسين والجازولين والميثان والإيثان وتحويلها إلى مركبات تساهم بشكل كبير وواضح في التلوث البيئي، كما تستطيع بعض الكائنات الحية الدقيقة إزالة هذا التلوث النفطي (ابن صادق، ١٤١٧هـ).

أسهم الاهتمام بموضوع تلوث البيئة بالنفط ومشتقاته إلى إجراء المزيد من الأبحاث في مجال التحلل الحيوي للنفط. وكما أسلفنا فإن للكائنات الحية الدقيقة دوراً كبيراً في هذا التحلل بالإضافة إلى الأكسجين اللازم للأنشطة الإنزيمية والماء الضروري في العمليات الحيوية للتحلل ليساعد على إلتصاق الكائنات الحية الدقيقة بالنفط كما أن بعض العناصر المعدنية مثل الفوسفور والنيتروجين تساعدان على نمو الكائنات الحية الدقيقة.

كما أسلفنا فإن تركيب النفط يساعد بشكل كبير على نمو العديد من الكائنات الحية الدقيقة بل ويعتبر في حقيقة الأمر وسط بيئي ملائم نظراً لتوفر المتطلبات الكربونية والنيتروجينية.

وعلى الرغم من أن صناعة تكرير النفط وتحويله إلى العديد من المشتقات المختلفة التي يستفيد منها الإنسان في المجالات المختلفة الا أنه يعتبر مصدراً مهماً للتلوث وينتج عن تكرير النفط العديد من الغازات السامة على هيئة أكاسيد الكبريت والنيتروجين والأمونيا وأول أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين والتي تعمل جميعاً على إحداث العديد من الأضرار البيئية والتي تؤدي إلى حدوث المطر الحمضي (Acid rain) .

وقد كشفت حرب الخليج الثانية (١٩٩١م) دور النفط كسلاح فتاك وخطير في تلوث البيئة . كما تقوم ناقلات النفط العملاقة في المساهمة في تلوث البيئة بالنفط نتيجة لتحطمها وانسكاب النفط في البحار والمحيطات والأنهار أو بغسل مستودعاتها بمياه البحار والمحيطات للتخلص من النفط عند إجراءات الصيانة والنظافة (ابن صادق، ١٤١١هـ) .

كما تجب الإشارة إلى تلوث البيئة بالمخلفات الهائلة من زيوت التشحيم الخفيفة والثقيلة وزيوت محركات العربات والمركبات المختلفة والتي تضاف يومياً إلى التربة والماء والأرض، والتلوث بالنفط امتد ليشمل أيضاً الأراضي الزراعية والشواطيء البحرية (ابن صادق، ١٤١٩أهـ) .

ومن أهم المشكلات التي تواجه المهتمين بالبيئة أن تلوث النفط يصعب السيطرة عليه سواء في البحار أو في المحيطات أو على الشواطيء ذلك لأن النفط يكوّن مع الماء بقعة متماسكة ويمكن حمله بسهولة بواسطة التيارات البحرية والهواء وإلى مساحات أكبر وبذلك ينتشر التلوث . وقد كشفت العديد من الأبحاث والدراسات مدى الضرر الذي يلحق بالبيئة والكائنات البحرية نتيجة لتلوث مياه البحار والمحيطات والشواطيء بالنفط (ابن صادق، ١٩٩٣م) .

وقد أدى الاهتمام بموضوع التلوث بالنفط إلى إحداث العديد من التشريعات البيئية للحد من هذا التلوث، وقد نشأ عن ذلك الاهتمام دراسة إمكانية الاستفادة من الكائنات الحية الدقيقة في التخلص من التلوث النفطي للبيئة . كما وجد على سبيل المثال أن بعض الكائنات الحية الدقيقة تستطيع أن تقوم بتمثيل غاز الإثيلين وهذا يؤدي إلى عدم تراكمه في الجو على الرغم من تواجده بكميات كبيرة أثناء

احتراق جازولين المركبات والعربات. كما وجد أن هناك العديد من الكائنات الحية الدقيقة ذات قدرة هائلة على الاستفادة من بعض مشتقات النفط مثل البرافين وزيوت التشحيم المختلفة. فقد وجد (Hashem, 1996 b) على سبيل المثال أن بعض الأنواع من الكائنات الحية الدقيقة مثل بعض الفطريات والبكتيريا ذات قدرة على الاستفادة من النفط الخام إذا وجدت في تربة ملوثة بالنفط (ابن صادق، ب١٤١٣هـ).

وعليه فإن عمليات التحلل الحيوي للنفط في التربة الملوثة عبارة عن عملية بطيئة تعتمد تماماً على النشاط الحيوي للكائنات الحية الدقيقة، وقد أمكن الاستدلال على أن إثراء التربة بالكائنات الحية الدقيقة بالإضافة إلى توفر الماء اللازم سوف يعمل على زيادة وسرعة تحلل النفط.

وقد أمكن عزل بعض الأنواع المتميزة من الكائنات الحية الدقيقة وبالذات أنواع من بكتيريا *Acinetobacter* و *Pseudomonas* والتي تمتاز بنشاطها الإنزيمي وقدرتها على التأقلم تحت الظروف المختلفة مما يساعدها على الاستفادة من التربة الملوثة بالنفط (Davis, 1967).

كما وجد أن البكتيريا *Methanobacterium thermoantotrophicum* ذات قدرة على استخدام غاز الميثان بالإضافة إلى تحويل الخلات إلى غاز الميثان في وجود الهيدروجين (Ehrlich, 1981).

وتحولات الهيدروكربونات بواسطة الكائنات الحية الدقيقة عبارة عن سلسلة متتابعة من التحولات والتي تؤدي في النهاية إلى تحللها على صورة مركبات غير معقدة تضاف إلى التربة باستمرار أو يستفيد منها الكائن الحي الدقيق في عمليات التكوين المختلفة للخلية الميكروبية وهذه السلسلة من التفاعلات تتأثر مباشرة بمختلف الظروف البيئية. وخلال مراحل التحلل اللاهوائي للمركبات الكربوهيدراتية تتكون كميات كبيرة من غاز الميثان في وجود بعض البكتيريا النشطة مثل: *Methanobacterium, Methanococcus, Methanosarcina* كما أن تحلل المركبات الهيدروكربونية بواسطة بعض الفطريات مثل: *Aspergillus* spp., *Alternaria* spp., *Penicillium* spp., انطلاق غاز الايثيلين ($H_2C = CH_2$) (الكسندر، ١٩٨٢م).

كما تنطلق بعض الغازات الأخرى نتيجة لتحلل المركبات الهيدروكربونية

مثل الإيثان والبروبيلين بواسطة بعض الكائنات الحية الدقيقة. أثبت العلماء أن هناك بعض الأنواع من البكتيريا والطحالب والفطريات تحتوي خلاياها على هيدروكربونات اليفاتية أو مواد مشابهة في تركيبها البنائي للهيدروكربونات (Alexander, 1977). وقد أمكن الاستفادة من تلك الظاهرة في عمليات تحلل النفط بواسطة الكائنات الحية الدقيقة، فيمكن على سبيل المثال معاملة الأراضي الملوثة بالنفط ببعض الأنواع الميكروبية مما يؤدي إلى سرعة تحلل النفط وهذا يؤدي إلى التقليل من نسبة التلوث. كما وجد أن بعض البكتيريا مثل: *Pseudomonas* و *Bacillus* و *Mycobacterium* ذات قدرة هائلة على تحليل المركبات الهيدروكربونية العطرية (Alexander,1977). وقد أمكن في الوقت الحاضر الاستفادة من خواص بعض الكائنات الحية الدقيقة في إحداث الطفرات الوراثية لإنتاج أنواع ميكروبية جديدة ذات صفات إنزيمية نشطة في تحليل النفط.

من الدراسات التي أجريت في تحليل النفط ومشتقاته بواسطة الفطريات ما لاحظه (Lianos and Kjoller, 1976; Savitha, 1986 :Knoll and Winter, 1989) أن بعض الفطريات مثل: *Aspergillus* و *Penicillium* و *Trichoderma* و *Cladosporium* تستطيع تحليل النفط ومشتقاته للاستفادة منه كمصدر للكربون، وأيضاً وجد أن أنواعاً عديدة من البكتيريا التابعة لأجناس *Pseudomonas* و *Bacillus* و *Arthrobacter* و *Micrococcus* و *Staphylococcus* (Ehrahadt and Rehm, 1989)، بالإضافة إلى السابق فإن المشتقات المختلفة لمخلفات النفط تتحول بواسطة تلك الكائنات إلى مركبات ذات فائدة بعد هضمها وتحليلها بواسطة الكائنات الحية الدقيقة (Carrod, 1978 ; Tan and Leong, 1986)، ومن هنا تتضح أهمية الكائنات الحية الدقيقة في تحليل وهضم مخلفات المركبات النفطية والتي قد ينتج عنها آثار ضارة على صحة الإنسان والبيئة بشكل عام إذا لم يتم تحللها وهضمها بواسطة تلك الكائنات الحية الدقيقة (Hashem, 1996d).

عندما تم عزل بعض الكائنات الحيةالدقيقة من تربة المملكة العربية السعودية، على أطباق بتري والتي تحتوي على بيئات ملائمة ومناسبة لنموها من التربة الملوثة بالنفط ومشتقاته (Hashem, 1995 e)، فقد لوحظ أن التربة غير الملوثة تحتوي على

أعداد ميكروبية أكبر من تلك الموجودة في التربة الملوثة، ومن تلك الكائنات الحية الدقيقة التي عزلت وجد أن بعض الفطريات تستطيع تحليل مخلفات النفط مثل بعض الأنواع التابعة لأجناس *Alternaria* و *Aspergillus* و *Cladosporium* و *Penicillium* و *Trichoderna* و *Ulocladium* . وبعض البكتيريا مثل *Arthrobacter* و *Bacillus* و *Micrococcus* و *Pseudomonas*، وقد أكدت العديد من الأبحاث والدراسات وجود أنواع عديدة من الكائنات الحية الدقيقة ذات قدرة على تحليل وهضم واستخدام مشتقات نفطية عديدة مثل البارافين (Parafene) والكيروسين (Kerosene) والجازولين (Gasoline) وأيضاً زيوت التشحيم (Lubricating oil) بمختلف أنواعها (Davis, 1967) وبالتالي فإن هذا يؤدي إلى تجنب الأضرار العديدة من تلك المركبات المعقدة والتي عند تحللها سوف ينتج عنها مركبات أقل تعقيد وأكثر استفادة للإمتصاص بواسطة الكائنات الحية الدقيقة (Hashem and Al-Obaid, 1996e) (Hashem, 1995e) . كما أن بعض المخلفات إذا لم تتحلل فإنها سوف تساهم بطريق مباشر في التأثير على مكونات التربة وبالذات المحتوى المعدني والعضوي والرطوبة الكلية وتفاعل التربة، أما عن تحليل مركب التولوين والبنزين فقد وجد أيضاً قدرة البكتيريا *Pseudomonas* spp. على تحليلهما وهضمهما كمصدر للكربون (Utkin *et al.*, 1992) .

وتعتبر التقنية الحيوية (Biotechnobiology) في الوقت الحاضر من أهم المجالات في التخلص من الآثار الضارة لتلوث النفط دون إلحاق أضرار خطيرة بالبيئة أو على الأقل أضراراً تكون على نطاق ضيق .

وهذه التقنية الحيوية تعتمد في المقام الأول على الصفات الوراثية الخاصة بالكائن الحي الدقيق وما يفرزه من إنزيمات محللة للنفط ثم إحداث الطفرات الجينية بين الكائنات الحية الدقيقة . وقد أمكن التوصل إلى إمكانية معالجة بقع النفط الموجودة على الشواطيء بواسطة بكتيريا خاصة أطلق عليها اسم البكتيريا القادرة على أكسدة النفط (*Desulfotomacutium nigrificans*) . كما تعتبر المذيبات العضوية (Organic solvents) والمتكونة أساساً من المركبات الهيدروكربونية من أكثر المواد تلويثاً للبيئة في الوقت الحاضر، ومن هنا تتضح أهمية الكائنات الحية الدقيقة في التخلص من تلك المركبات الضارة. كما تجب الإشارة إلى أن بعض الأنواع من البكتيريا

يساهم بشكل كبير في تحويل آبار النفط من الإنتاج الحلو إلى الإنتاج الحمضي وهذا يعتبر من أهم المشكلات الاقتصادية في الوقت الحاضر ذلك لأن النفط يتحول من نفط يحتوي على كمية ضئيلة من الكبريت إلى نفط يحتوي على كميات كبيرة من الكبريت. كما وجد أن بعض البكتيريا عند تفاعلها مع الكبريت تنتج غاز (H_2S) الذي يتفاعل مع هيدروكسيد الحديدوز $Fe(OH)_2$ وينتج كبريتيد الحديدوز (FeS) في داخل أنابيب النفط مما يحدث تآكلا في معدات إنتاج النفط وخطوط الأنابيب. وتحتاج دول الخليج العربي في الوقت الحاضر إلى إضافة العديد من التشريعات القانونية في مجال استخدام النفط والمقاومة الحيوية.تلافياً لما يحدث مستقبلاً من كوارث بيئية نتيجة للتلوث بالنفط، كما أن محطات تنقية ومعالجة المياه المالحة على الخليج العربي تحتاج إلى إجراء المزيد من الأبحاث والدراسات في مجال مكافحة التلوث النفطي ووضع الأسس الكفيلة للتقليل من هذا الخطر. ويعتبر الخليج العربي في الوقت الحاضر من أكثر الممرات البحرية تلوثاً بالنفط لوجود مئات من الآبار المحيطة بشواطئه وكثافة غرق الناقلات المحملة بالنفط وتسرب النفط منها وانتشار الغازات والأبخرة السامة من حقول النفط والتسرب الناتج أثناء تحميل البواخر بالنفط مما يتطلب معه العمل على سرعة الاهتمام بهذه المشكلة ووضع الحلول المناسبة لها (ابن صادق، ب١٤١٩هـ).

وقد أمكن في الوقت الحالي الاستفادة من التقنية الحيوية في استصلاح وإعادة تأهيل (Rehabilitation) ومعالجة (Remediation) التربة الملوثة بالنفط الخام ومشتقاته عن طريق النشاط الميكروبي والتي يطلق عليها التأهيل الحيوي (Biorehabilitation) والمعالجة الحيوية (Bioremediation) للأراضي الملوثة بالنفط الخام ومشتقاته. (ابن صادق، ١٤٢١هـ Alexander, 1999 ' Hashem and Al-Harbi, 20001).

الفصل الحادي والعشرون

الأضرار والمشكلات البيئية
الناتجة عن التلوث المعدني

بعد التعرف على الدور الفعال الذي تقوم به الكائنات الحية الدقيقة في المجالات المختلفة للتحولات المعدنية لا بد من إلقاء مزيد من الضوء على الأضرار والمشكلات البيئية التي تنتج عن التلوث المعدني . وهذه الأضرار قد تكون متعلقة بالنظام البيئي (Ecosystem) وما يحويه من عناصر بيئية مختلفة مثل التربة والماء والهواء وأيضاً تتعلق بصحة الإنسان وسلامته بالإضافة إلى النبات والحيوان .

فكما هو معلوم فإن أي عامل بيئي يمكن أن يحدث تغييراً في النظام البيئي إذا كان ذلك العامل البيئي بدرجة غير مناسبة وملائمة لتواجده سواء من الناحية الفيزيائية أو الكيميائية ، فلو اعتبرنا أن ذلك العامل البيئي هو حاجة النبات مثلاً إلى عنصر معدني معين لتغذيته فإنه يجب أن يكون في حدود ملائمة لاحتياج النبات ، أما إذا زاد ذلك العنصر عن حاجة النبات ، فإن الكميات الزائدة سوف تتسرب إلى التربة أو تتصاعد إلى الجو محدثة ما يسمى بالتلوث المعدني (Metal pollution) ، كما أن العنصر المعدني إذا نقصت كميته عن الحد المطلوب لاحتياج النبات فإن ذلك يؤدي إلى حدوث مشكلات وأضرار مختلفة تلحق بالنبات .

وفي الوقت الحاضر ازدادت مشكلة الأمطار الحمضية (Acid rains) نتيجة للتطور السريع والهائل في الصناعات المختلفة والتي نتج عنها إطلاق أنواع مختلفة من الغازات والأبخرة فتحول مياه الأمطار إلى ما يسمى بالمطر الحمضي الذي يؤثر

بشكل مباشر على النظام البيئي وبالاخص حدوث العديد من التغيرات والتي تؤدي إلى تثبيط نمو الأشجار في الغابات، أما على مستوى الكائنات الحية الدقيقة فإنه يؤدي أيضاً إلى تثبيط النشاط الميكروبي بالإضافة إلى حدوث بعض الطفرات الجينية للكائنات الحية الدقيقة لملاءمة الوضع الجديد وهو زيادة حموضة الوسط البيئي، فقد لاحظ أوهارا (O'Hara *et al.*, 1989) أن البكتيريا *Rhizobium meliloti* تستطيع النمو في التربة ذات الأرقام الهيدروجينية المنخفضة من تفاعل التربة، وتلك التحولات في الطفرات الجينية على الكائنات الحية الدقيقة تؤثر بشكل مباشر في النشاط الميكروبي مما يؤدي إلى حدوث بعض الأضرار والمشكلات على نمو النبات، ومن أكثر الأمثلة ما يحدث للجذر فطريات (Mycorrhiza) فقد لوحظ تناقص كبير في نمو بعض النباتات التي تكوّن تلك العلاقة في العديد من الغابات في أوروبا وأمريكا وهذا يرجع إلى الآثار السامة للعناصر الثقيلة نتيجة للتلوث المعدني، وقد لوحظ أيضاً أن الغابات غير الملوثة لا تحدث بها تلك المشكلات، وجد (Kowalski, 1987) أن المناطق الصناعية المحيطة بالغابات تؤدي إلى تثبيط النشاط الميكروبي للجذر فطريات (Mycorrhiza) . كما تحولت علاقة الفطريات الجذرية إلى علاقة مرضية غير مرغوب فيها بعد أن كانت علاقة ذات مصلحة للنبات (Allen, 1991) . وبالمقابل ونتيجة لزيادة التلوث المعدني عن الحد المتوقع فقد أمكن ملاحظة عدم تكون علاقة التكافل بين الفطريات وبعض النباتات والتي كانت موجودة قبل حدوث التلوث المعدني وكانت فيها النباتات ذات قدرة على تحمل المعادن الثقيلة (Bradley *et al.*, 1982; Hashem,1987) . أيضاً تؤثر المعادن الثقيلة بشكل مباشر على الإتزان الميكروبي في التربة (Microbial equilibrium) لأن الكائنات الحية الدقيقة تشترك مع بعضها في علاقات خاصة يحكمها الإتزان والمحتوى الميكروبي والذي يساهم بدرجة كبيرة في التحكم في مدى توفر العناصر الضرورية واللازمة للنمو الميكروبي، فتواجد المعادن الثقيلة بكميات أعلى من المطلوب للنمو يؤدي بلا شك إلى حدوث العديد من التداخلات والتعقيدات والتي تؤدي في النهاية إلى ما يسمى بالخلل البيئي في العلاقات الميكروبية في الوسط البيئي، وتعد تلك العلاقات تحت الظروف البيئية العادية علاقات مهمة تقوم بها الكائنات الحية الدقيقة دون إحداث أو إلحاق أضرار

بالكائنات الحية الاخرى. وفي ظل الاستفادة من عناصر النمو المتاحة، وعند زيادة نسبة سمية بعض العناصر الثقيلة فإن تلك العلاقات سوف تتحول إلى علاقات غيرمرغوب فيها وهذا يؤدي إلى حدوث بعض التغيرات في النشاط الميكروبي بالإضافة إلى أن بعض الكائنات الحية الدقيقة سوف تقوم بإفراز بعض المركبات للتخلص من الآثار الضارة للمعادن السامة والتي سوف تؤثر في الوقت نفسه بشكل مباشر على الاتزان الميكروبي وجذور النباتات التي تنمو في نفس الوسط البيئي.

وعند امتصاص النبات لبعض العناصر المعدنية السامة فإن الأضرار سوف تمتد أيضاً لتشمل المنطقة المحيط جذرية (Rhizosphere) والتي تحتوي على أعداد كبيرة من الكائنات الحية الدقيقة نتيجة لتأثرها بجذور النبات وما يفرزه من مركبات عديدة بحيث أصبحت تلك الكائنات الحية الدقيقة ذات أثر واضح على نمو النبات، إن امتصاص العنصر المعدني السام بكميات كبيرة سوف يؤثر بشكل مباشر على امتصاص العناصر المعدنية الضرورية والتي يحتاجها الكائن الحي بكميات كبيرة، وهذا يؤدي إلى حدوث اختلال في امتصاص العناصر المعدنية بواسطة الكائنات الحية الدقيقة.

وقد أثبتت الأبحاث العديدة أن البكتيريا *Azospirillum* spp. و*Azotobacter* spp. و *Bacillus polymyxa* تلعب دوراً مهماً في تثبيت النتروجين الجوي في بعض النباتات مثل قصب السكر والذرة والقمح (محمود وآخرون، ١٩٨٨م)، لكن تواجد تلك الكائنات الحية الدقيقة في تربة ملوثةبالعناصر المعدنية السامة سوف يؤثر بشكل مباشر على نسبة تثبيت النيتروجين وقد يؤدي إلى إيقاف تلك العملية وتثبيط نمو الكائنات الحية الدقيقة، كما أن زيادة نسبة بعض العناصر المعدنية الثقيلة يؤدي إلى نقص تحلل بعض المخلفات النباتية مثل السليلوز واللجنين وهذا راجع إلى بطء النشاط الإنزيمي للكائنات الحية الدقيقة. كما أن زيادة بعض العناصر المعدنية السامة قد يؤدي إلى حدوث تنافس بين الكائنات الحية الدقيقة في التربة لتجنب الآثار الضارة لتلك العناصر وبالتالي فإن هذا يؤدي إلى زيادة نوع ميكروبي على حساب الأنواع الأخرى. وكما هو معلوم فإن البكتيريا المثبتة للنيتروجين (Nitrogen fixing bacteria) تحتاج عنصر الكوبلت (Co) لتكوّن العقد الجذريةوبالذات الجنس

(*Rhizobium*) ولكن بكميات ضئيلة وملائمة لنمو الكائن الحي الدقيق، أما إذا زادت تلك النسبة فإن العقد الجذرية لا تتكون وتصبح البكتيريا في هذه الحالة ذات علاقة مرضية ومضرة بالنبات، أيضاً لوحظ أن عنصر البورون (B) ليس من العناصر الضرورية التي تحتاجها الكائنات الحية الدقيقة وبالذات لبعض الفطريات والطحالب لكنه سجل كعنصر ضروري لتنشيط تثبيت النيتروجين بواسطة بعض الأنواع البكتيرية، كما أن الفطريات الجذرية تحتاج هذا العنصر أكثر من تلك النباتات التي لا تشكل تلك العلاقة (Maliszewaska, 1972; Price *et al.*, 1972; Lambert *et al.*, 1980) فإذا زادت نسبة عنصر البورون عن حاجة الكائن الحي الدقيق توقف تثبيت النيتروجين، وأيضاً لا تتكون علاقة التكافل بين الفطر والنبات لتكوين الفطر الجذري. ومن الأمور الملاحظة أيضاً أن زيادة عنصر الكادميوم (Cd) تؤدي إلى تثبيط تكوين الحمض النووي (DNA) في العديد من الكائنات الحية الدقيقة وهذا يؤدي إلى ضعف العلاقات التكافلية بين تلك الكائنات الحية الدقيقة والنباتات (Kabata-Pendias and Pendias, 1985). كما تساهم الكميات العالية من عنصر الكوبالت (Co) على تثبيط امتصاص عنصر المغنيسيوم (Mg) بواسطة بعض الكائنات الحية الدقيقة وهذا يؤدي إلى إيقاف وبطء النشاط الميكروبي (Wenberig, 1977). أما زيادة عنصر الألومنيوم عن حاجة النبات فقد وجد أنها ذات تأثيرات ضارة على نمو النبات بالإضافة إلى حدوث العديد من التداخلات (Interactions) بين عنصر الألومنيوم والعناصر المعدنية الأخرى (Foy *et al.*, 1978)، كما وجد أن زيادة عنصر النحاس (Cu) عن حاجة النبات تؤدي إلى اصابة النبات بالعديد من الأمراض الفطرية بالإضافة إلى بطء إفراز بعض الإنزيمات الضرورية لعمليات الأيض المختلفة في النبات (Woolhouse and Walker, 1981). كما لاحظ (Sandmann and Boger, 1980) أن زيادة عنصر النحاس نتيجة للتلوث بهذا العنصر تؤدي إلى تحطيم الغشاء الخلوي وإطالة خلايا الجذور في النبات، كما تعمل على تغيير النفاذية الانتخابية (Selective permeability) للغشاء الخلوي للنبات وهذا يؤدي إلى امتصاص عناصر غير مرغوب فيها عن طريق الجذور وأيضاً تسرب بعض العناصر الضرورية إلى التربة من الجذور، كما يجب ملاحظة أن زيادة عنصر النحاس في التربة نتيجة للتلوث تؤدي إلى حدوث العديد من التداخلات بين هذا

العنصر والعناصر الأخرى مثل المنجنيز والكادميوم والألومنيوم والكالسيوم وهذا يلحق بالبيئة وبالنبات العديد من الأضرار البيئية. أما تلوث التربة بعنصر المنجنيز من المصادر المختلفة مثل مخلفات الصرف الصحي ومخلفات الأسمدة فتؤدي إلى زيادة سمّية هذا العنصر مما يؤثر على نمو النبات ويؤدي أيضاً إلى الإبطاء في عمليات الأكسدة والاختزال لهذا العنصر بواسطة الكائنات الحية الدقيقة مما يساهم في حدوث اختلال في النظام البيئي وفي دورة هذا العنصر في الطبيعة (Zajic, 1969; Wada *et al.*, 1978).

وعنصر الخارصين (Zn) مهم في التحولات المختلفة والتي تشمل عمليات الأيض، فهو يدخل في تكوين العديد من الإنزيمات مثل (Dehydrogenase) و (Proteinase) و (Peptidase) ولكن بكميات ملائمة ومناسبة لمتطلبات النبات والكائن الحي الدقيق (Lindsay, 1972)، فإذا زادت تلك النسبة عن الحد المطلوب في النبات أو الكائن الحي الدقيق فإن هناك العديد من الأضرار سوف تحدث للكائن الحي، فتظهر علامات التسمم على النبات، أما على الكائن الحي الدقيق فقد لوحظ أن الزيادة في تركيز عنصر الخارصين تؤدي إلى تثبيط النشاط الميكروبي لتكوين العقد الجذرية بواسطة البكتيريا *Rhizobium* spp. لتثبيت النتروجين (Shukla and Yadav, 1982). وقد ذكر كل من: (Tyler, 1975; Anderson, 1976; Doelman and Hanstra, 1979; Hughes *et al*, 1980) بأن تراكم عنصر الرصاص (Pb) في التربة نتيجة للتلوث بهذا العنصر بتراكيز عالية يؤدي إلى إبطاء النشاط الإنزيمي للعديد من الكائنات الحية الدقيقة، وأيضاً يؤدي ذلك إلى عدم تحلل المركبات العضوية تحللاً كاملاً.

ومن أهم المشكلات الناتجة عن التلوث بالعناصر المعدنية الثقيلة ما يتعلق بصحة الإنسان والحيوان. فقد لوحظ أنها تحدث العديد من المشكلات الصحية لحياة الإنسان والتي لا تزال آثارها الضارة تظهر للعيان بشكل وأسلوب جديد، فمثلاً استخدام الزئبق (Hg) في حشوة الأسنان اتضح أنها تؤدي إلى إحداث تلف وأضرار لمخ الإنسان، كما أن عنصر الرصاص ومركباته المختلفة تعتبر من أهم المواد السامة على صحة الإنسان، فالكميات الزائدة منه تؤدي إلى نقص كريات الدم الحمراء وترسبه في العظام يؤدي إلى حدوث مضاعفات في الجهاز العصبي للإنسان وكما

أمكن ملاحظة أن زيادة عنصر الرصاص في دم الأطفال يؤدي إلى حدوث بعض المشكلات الصحية وبالذات على الدماغ، أما عنصر الكبريت فإن زيادة تركيزه تؤدي إلى تفاعله مع بخار الماء الموجود في الهواء الجوي ويتحول إلى حمض الكبريتيك (H_2SO_4) والذي يؤثر بدرجة كبيرة على نمو النبات والكائنات الحية الاخرى، والزيادة من عنصر النيتروجين وبالذات أكاسيده مثل ثاني أكسيد النيتروجين تعتبر خطرة على حياة الإنسان والنبات (Al-Nasser and Hashem, 1998 . (Fergusson, 1990)

والمبيدات بمختلف أنواعها تحتوي على أنواع مختلفة من العناصر المعدنية ونتيجة للإفراط الزائد في استخدامها ينتج عنها تلوث للتربة والماء والهواء، فتمتص بواسطة النبات ثم تنتقل إلى الحيوانات التي تتغذى على النباتات ومنها إلى الإنسان الذي يتغذى عليها وقد أمكن ملاحظة أن المبيد المسمى (D.D.T) قد اكتشفت آثار منه في القطب الجنوبي رغماً أنه لم يستخدم في تلك المنطقة. كما أمكن التأكد من أن المبيد (D.D.T) يدخل في العمليات التي تؤدي إلى تكوين قشرة رقيقة من عنصر الكالسيوم على البيض لبعض الطيور مما يؤدي إلى عدم تحملها للصدمات وتتهشم حالاً كما أن استخدام بعض المبيدات الحشرية ولو بتراكيز ضئيلة للقضاء على بعض الحشرات يؤدي إلى تلوث الماء والتربة وأيضاً إلى موت الأسماك والطيور. أما المبيدات التي تحتوي على بعض العناصر المعدنية السامة مثل الزئبق للقضاء على بعض الفطريات تساهم بدرجة كبيرة في تلوث التربة والماء مما يؤثر على صحة الإنسان والحيوان والنبات. أما التلوث بالمخصبات الزراعية نتيجة للإسراف الزائد في استخدامها فينتج عنه تلوث بالعديد من العناصر المعدنية مثل الفوسفور والنترات، وتؤدي الزيادة في تلك العناصر إلى نمو بعض النباتات والطحالب غير المرغوب فيها والتي تسمى ظاهرة الإزدهار (Eutrophication). كما أن زيادة عنصر الفوسفور في مياه الشرب تؤدي إلى إصابة الإنسان والحيوان بالتسمم.

والتلوث بعنصر النترات نتيجة للإسراف في استخدام المخصبات الزراعية يؤدي إلى زيادة تركيزها في الماء وأيضاً في بعض النباتات. كما أمكن ملاحظة

العديد من الأضرار التي تلحق بالإنسان نتيجة استخدام نتريت الصوديوم في حفظ الطعام والمعلبات. كما تؤدي التراكيز العالية من عنصر الكادميوم إلى حدوث تسمم للإنسان والحيوان عن طريق التغذية بالخضراوات الملوثة بهذا العنصر (Nordberg, 1974)، كما لوحظت حدوث عمليات التسمم بعنصر البورون (B) نتيجة لاستهلاك فواكه وخضراوات ملوثة بكميات عالية من هذا العنصر (Davis, 1980). وتحدث عمليات التلوث بعنصر الكوبالت (Co) من مصادر مختلفة من أهمها احتراق الفحم الحجري ووقود المركبات وهذا يؤدي إلى امتصاصه بواسطة بعض النباتات مثل الطماطم مما يؤدي إلى حدوث تسمم للإنسان والحيوان عند تناول بعض الخضراوات والفواكه الملوثة بهذا العنصر (Hutchinson and Whitby, 1973). أما عنصر النيكل (Ni) فيعتبر من أهم الملوثات في الوقت الحاضر نتيجة للتلوث الناشيء عن عمليات صهر المعادن واحتراق الوقود والفحم بالإضافة إلى وجوده في مخلفات الصرف الصحي، أيضاً أمكن ملاحظة المخاطر الصحية الناشئة عن الزيادة في عنصر النيكل (Sounderman, 1980). كما أن زيادة مجموعة النتريت(NO_2^-) يؤثر في الدم ويمنعه من القيام بنقل الأكسجين، وزيادة عنصر الحديد تؤثر على امتصاص عنصر الأكسجين بهيموجلوبين الدم، فعند تحول ذرة الحديد على سبيل المثال من ذرة ثنائية التكافؤ إلى ذرة ثلاثية التكافؤ فإن الهيموجلوبين يفقد قدرته على نقل الأكسجين. أما التلوث بمخلفات النفط ومشتقاته فيؤدي إلى امتصاص بعض العناصر المعدنية الثقيلة وتركيزها في التربة والماء والهواء عن طريق تكوين مستحلب من اختلاط النفط بالماء وهذا يؤدي إلى حدوث تسمم للأسماك والطيور ومن ثم يتغذى عليها الإنسان. وفي الوقت الحاضر أمكن ملاحظة أن هناك العديد من الأمراض مثل مرض تساقط الشعر وسرطان الدماغ وفقر الدم ونخر الأسنان والتليف الكبدي وأمراض المعدة وتشوه الجنين قد تكون أسبابها ناتجة عن التسمم بواسطة العناصر المعدنية الثقيلة (Fergusson, 1990) (ابن صادق، ب١٩٩٧م).

الفصل الثاني والعشرون

دور الكائنات الحية الدقيقة
في الحد من التلوث المعدني

بعد التعرف على الدور الهام الذي تقوم به الكائنات الحية الدقيقة في مجال التحولات المختلفة للعناصر المعدنية ودوراتها في الطبيعة، يتضح أنها ذات أثر مهم ورئيسي في جميع التفاعلات التي تحدث على سطح الأرض وتؤثر بشكل مباشر على النظام البيئي (Ecosystem) وتوازنه، فالمخلفات النباتية والحيوانية تتحلل بفعل الأنشطة الميكروبية وتنطلق نواتج هذا التحلل إلى الوسط البيئي لتعيد ما تم استنزافه من مركبات ومواد مختلفة، وهكذا تتم تلك العمليات على شكل دورات، كل دورة تمثل جانباً مهماً من الجوانب البيئية المختلفة. كما تساهم الكائنات الحية الدقيقة بدور فعال في خصوبة التربة والإمداد بما تحتاجه من مركبات مختلفة تدخل في تحسين خواص التربة وتركيبها.

وقد تم استعراض العمليات المختلفة التي تقوم بها الكائنات الحية الدقيقة للإستفادة من العناصر المعدنية عن طريق التمثيل أو المعدنة أو الإذابة أو الثبوت والتي تعمل على حفظ التوازن البيئي للعناصر المعدنية في الأوساط البيئية (ابن صادق، ١٤١٤هـ).

والتلوث المعدني (Metal pollution) امتد ليشمل مجمل البيئة من تربة وماء وهواء، بل أمكن ملاحظة هذا التلوث في الإنسان والحيوان والنبات، فقد تم التأكد من احتواء دم الإنسان وشعره وأظافره وأيضاً البول على تراكيز من العناصر المعدنية

الثقيلة مثل الرصاص والنحاس والخارصين والتي تختلف في تراكيزها باختلاف الأوساط البيئية، كما لوحظ حدوث عمليات التسمم المختلفة بالعناصر المعدنية السامة للإنسان والحيوان، أما النبات فقد سجلت تراكيز عالية من العناصر المعدنية الثقيلة ضمن المجموع الجذري والمجموع الخضري للنبات (Hashem and Al-Farhan, 1993)، كما أمكن التعرف على المصادر المختلفة لتلك العناصر المعدنية الثقيلة (Hashem,1990) (ابن صادق، ب١٩٩٧م).

وفي الوقت الحاضر فإن الهواء والماء والتربة (عناصر البيئة) يحدث لها العديد من الإضافات المستمرة من العناصر المعدنية الثقيلة نتيجة للتطور الهائل في الصناعات المختلفة مثل صناعة المنظفات المنزلية والأسمدة والمبيدات وتكرير النفط ومشتقاته والبلاستيك ومشتقاته بالإضافة إلى ما قد تحتويه مخلفات الصرف الصحي من كميات هائلة من العناصر المعدنية الثقيلة، وهذا لا شك سوف يؤثر تأثيراً مباشراً على التنوع الميكروبي والتنافس بين الكائنات الحية الدقيقة مما يساعد على نشوء سلالات جديدة من الكائنات الحية الدقيقة تمتاز بقدرتها الفائقة على التأقلم مع الوسط البيئي الجديد، كما قد يؤدي ذلك إلى التأثير على النشاط الميكروبي، فقد يعمل على تثبيط نمو بعض الكائنات الحية الدقيقة وذلك عن طريق إحداث بعض التغييرات في الأنشطة الإنزيمية لتلك الكائنات الحية الدقيقة.

وقد وضعت العديد من الدراسات وأجريت العديد من الأبحاث لتوضيح دور الكائنات الحية الدقيقة في الحد من التلوث المعدني عن طريق توفير وتسهيل امتصاص العناصر المعدنية السامة بتقليل سمّيتها أو بارتباطها مع بعض العناصر المعدنية وهذا يساعد كثيراً على نمو النبات وتجنبه للأثر الضار والسام للعنصر المعدني الثقيل.

تدخل الكائنات الحية الدقيقة مع بعض النباتات في علاقات تخصصيه تساهم بشكل فعال في تسهيل نمو النبات عن طريق امتصاص الكميات الملائمة والمناسبة للعناصر المعدنية الضرورية لنموه. ومن أكثر الأمثلة على تلك العلاقات التكافلية التي تسمى الجذرفطريات (Mycorrhiza)، فقد وجد أنها ذات أهمية خاصة للنبات عن طريق قدرتها على امتصاص العناصر المعدنية اللازمة للنبات بكميات كبيرة (Macronutrients) وأيضاً تلك اللازمة للنبات بكميات ضئيلة (Micronutrients)،

كما كشفت تلك الدراسات أنها ذات فائدة للنبات حتى في التربة الفقيرة التي لا تحتوي إلا على تراكيز ضئيلة من العناصر المعدنية بالإضافة إلى أنها تجنب النبات الآثار السامة للتراكيز العالية من العناصر المعدنية السامة حتى إذا كان النبات نامياً في المناجم (Bradley *et al.*, 1982 ; Burt *et al.*, 1986; Hashem, 1987; Allen, 1992) .

ففي تلك العلاقة يستطيع الفطر الداخل في تلك العلاقة احتباس العناصر المعدنية السامة داخل المجموع الجذري للنبات وهذا يقلل من تواجد تلك العناصر المعدنية الثقيلة في التربة، كما يستطيع الفطر أيضاً امتصاص العناصر المعدنية السامة من التربة وتركيزها داخل المنطقة الجذرية للنبات، وهذا يساعد على التقليل من التلوث المعدني في الوسط البيئي، كما تقوم الفطريات في تلك العلاقة بإحداث العديد من التغييرات على العنصر المعدني عن طريق العديد من الأنشطة المختلفة وهذا يؤدي إلى الحد من ارتباط بعض تلك العناصر المعدنية الثقيلة مع التربة، كما تم استخدام النظائر المشعة لإثبات قدرة بعض الفطريات الجذرية على توصيل العناصر المعدنية الضرورية لنمو النبات (Hashem, 1987) .

لوحظ أن تلك العلاقة تؤدي إلى تحسين خواص التربة وصفاتها الفيزيائية عن طريق التبادل المتزامن بين العناصر المعدنية المختلفة في التربة وعدم حدوث التداخلات المعدنية (Interaction) بين العناصر، كما تساهم بشكل فعال على النشاط الميكروبي للكائنات الحية الدقيقة حول منطقة الجذور عن طريق تنظيم الإفرازات المختلفة لجذور النبات.

أما الأشنات (Lichens) وهي تمثل علاقة متخصصة بين أنواع معينة من بعض الطحالب وبعض الفطريات، حيث ينتج عن تلك العلاقة نشوء كائن حي دقيق يطلق عليه الأشنة، وفي علاقة التكافل هذه يستفيد الفطر من الطحلب حيث يستطيع الطحلب القيام بعمليات البناء الضوئي وصنع احتياجه العضوي الغذائي كما يقوم الفطر بامتصاص المواد الغذائية. وقد لوحظ أن الأشنات تزيد من توفر العناصر المعدنية للنبات عن طريق إحداث العديد من التفاعلات الحيوية والتي تؤدي في النهاية إلى إذابة الصخور والإمداد بالعناصر المعدنية اللازمة لنمو النبات ويمكن التعبير عن ذلك بالمعادلة الآتية:

$$CO_2 + H_2O \longrightarrow H_2CO_3$$

فنجد أن ثاني أكسيد الكربون الناتج عن تنفس الأشنة يذوب في الماء ويؤدي ذلك إلى تكون حمض الكربونيك والذي يعمل على إذابة الصخور. كما تساهم الأشنات بشكل رئيسي في الحفاظ على ثبات التربة وتحسين خواصها الفيزيائية والكيميائية بالإضافة إلى خصوبتها، كما أنها مقاومة للجفاف مما يساعد على نمو النبات حولها، تحتوي الأشنات أيضاً على بعض المواد الجيلاتينية التي تعمل على إفرازها لاختراق حبيبات التربة والصخور مما يساعد بشكل كبير على إذابة العناصر المعدنية. و تفرز بعض الأشنات مركبات كيميائية وأحماض عضوية يطلق عليها أحماض الأشنات (Lichen acids) وذلك بالإضافة الى إفراز المضادات الحيوية، التي تساهم في إطلاق العناصر المعدنية، كما لوحظ أن الأشنة *Cladonia squamosa* تستطيع إذابة عنصر الحديد، وأيضاً الطحلب *Nostoc muscorum* الداخل في تكوين بعض الأشنات يفرز بعض المركبات الكيميائية والتي تساهم بشكل مهم في احتباس بعض العناصر المعدنية مع إطلاق البعض الأخر حسب الاحتياج الميكروبي للنمو، كما لوحظ إفراز حمض (Citric acid) من بعض الفطريات التي تدخل في تكوين الأشنة وهذا يسهم في إذابة بعض العناصر المعدنية (Weinberg, 1977).

كما أمكن إثبات تراكم وامتصاص العناصر المعدنية عن طريق استخدام بعض النظائر المشعة للمعادن الثقيلة (Syers and Iskandar, 1973).

أما انتقال عنصر الفوسفور وتراكمه بواسطة الأشنات وأيضاً بعض العناصر الأخرى مثل الكالسيوم والمغنيسيوم والحديد والبوتاسيوم فقد سجلت أيضاً بواسطة العديد من الأشنات (Tuominen and Jaakola, 1973).

وبالنسبة لبعض الأشنات التي تنمو على جذوع وسيقان بعض الأشجار فإنها تسهم بشكل مهم في امتصاص العناصر المعدنية السامة وتجنب النباتات الأثر السام لتلك العناصر المعدنية عن طريق إحداث بعض التغييرات لتلك العناصر ومنها تركيز العنصر المعدني ضمن الغشاء الخلوي للأشنة كما يقوم الجدار الخلوي للأشنة بربط العنصر المعدني أو عن طريق إفراز بعض المركبات مثل عديدات التسكر وعديدة

الفوسفات، وقد لوحظ ذلك في الأشنة *Liriodendron tulipifera* باستخدام النظير المشع (Cs^{137}) (Weinberg, 1977).

كما تجب الإشارة الى أن علاقة الكائنات الحية الدقيقة مع النبات لا بد وأن تصاحبها دراسة مستفيضة لتحديد تلك العلاقة تحديداً حتى يمكن فهم طبيعتها وأثر العوامل البيئية عليها، وكيف يمكن الاستفادة من تلك العلاقة في الحد من التلوث المعدني.

هناك أيضاً الأنشطة الميكروبية المختلفة في دورات العناصر المعدنية والتي تشمل التمثيل والمعدنةوالذوبان والثبوت وغيرها من التفاعلات الأخرى والتي تعمل على تدوير العناصر المعدنية ضمن نطاق الاتزان البيئي، لكن قد تعمل بعض الكائنات الحية الدقيقة على إحداث بعض التغييرات مما يسهم بشكل واضح في امتصاص أو إذابة كميات من بعض العناصر المعدنية أعلى من المتطلبات الملائمة لنمو النبات وهذا يؤدي إلى زيادة نسبة العنصر في الوسط البيئي مما يسهم في زيادة التلوث المعدني، ولكن تأتي كائنات حية دقيقة أخرى تستطيع أن تمتص تلك الكميات الزائدة من العناصر السامة من الوسط البيئي وتدويرها مرة أخرى ضمن دورات العناصر المختلفة وهكذا يتم التخلص من أضرار التلوث المعدني والذي يعتبر في الوقت الحاضر من أهم وأكثر المشكلات التي تواجه الإنسان في جميع أنحاء العالم نظراً لوجود العديد من المصادر المختلفة لانطلاق المعادن (ابن صادق، ب١٩٩٧م).

المراجع

أولاً: العربية

ابن صادق، عبدالوهاب رجب هاشم. (١٤١٠هـ)، تلوث الماء، *مجلة الدفاع* ٧٩(٥٩)، الرياض.

ابن صادق، عبدالوهاب رجب هاشم. (١٤١١هـ)، التلوث الناتج عن حرق آبار البترول في الكويت، *صحيفة رسالة الجامعة* ٤٤٨(٣)، الرياض.

ابن صادق، عبدالوهاب رجب هاشم. (١٤١٢هـ)، استخدام الكائنات الحية الدقيقة للتخلص من تلوث الماء، *مجلة الدفاع* ٨٥(٣٩)، الرياض.

ابن صادق، عبدالوهاب رجب هاشم. (أ١٤١٣هـ)، دور الكائنات الحية الدقيقة في معالجة النفايات والمخلفات، *مجلة الدفاع* ٨٨(٦٨-٦٩)، الرياض.

ابن صادق، عبدالوهاب رجب هاشم. (ب١٤١٣هـ)، دور الكائنات الحية الدقيقة في التخلص من فضلات البترول ومشتقاته، *صحيفة رسالة الجامعة* ٥٠١(٥)، الرياض.

ابن صادق، عبدالوهاب رجب هاشم. (١٤١٤هـ)، الكائنات الحية الدقيقة ودورها في التوازن البيئي، *مجلة الحرس الوطني* ١٤٢(٧٩)، الرياض.

ابن صادق، عبدالوهاب رجب هاشم. (١٤١٧هـ)، المعالجة البيولوجية للتلوث النفطي، *مجلة أخبار النفط والصناعة* ٣١٣(٨-٩)، أبو ظبي.

ابن صادق، عبدالوهاب رجب هاشم. (أ١٤١٩هـ)، ملوثات تضاف إلى الوسط البيئي يوميا، *مجلة الخفجي* ٩(٣٨-٣٩)، الخفجي.

ابن صادق، عبدالوهاب رجب هاشم. (ب١٤١٩هـ)، الأنظمة التشريعية للحماية البيئية، *مجلة الدفاع* ١١٣(١١٤-١١٦)، الرياض.

ابن صادف، عبدالوهاب رجب هاشم. (١٤٢١هـ) *الأمن البيىء*. النشر العلمي والمطابع، جامعة الملك سعود، الرياض.

ابن صادق، عبد الوهاب رجب هاشم (١٩٩١م)، *أثر الأسمدة النيتروجينية على طبقة الأوزون*، مجلة الدفاع، ٨١، الرياض.

ابن صادق، عبدالوهاب رجب هاشم. (١٩٩٢م)، التلوث الميكروبي المعدني، *مجلة أخبار النفط والصناعة* ٢٦٧(٧-٨)، أبو ظبي.

ابن صادق، عبدالوهاب رجب هاشم. (١٩٩٣م)، الأضرار الناتجة عن التلوث بمخلفات البترول ومشتقاته، *مجلة أخبار النفط والصناعة* ٣١٣(٨-٩)، أبوظبي.

ابن صادق، عبدالوهاب رجب هاشم (١٩٩٤م)، *التجارب العملية في علم الأحياء الدقيقة التعديني*، عمادة شؤون المكتبات، جامعة الملك سعود، الرياض.

اين صادق، عبدالوهاب رجب هاشم (أ ١٩٩٥م)، *التجارب العملية في أسس التلوث الميكروبي البيئي*، مؤسسة اليمامة الصحفية، الرياض.

ابن صادق، عبدالوهاب رجب هاشم (ب ١٩٩٥م). *التجارب العملية في أسس الأحياءالدقيقة*، عمادة شؤون المكتبات، جامعة الملك سعود، الرياض.

ابن صادق، عبدالوهاب رجب هاشم. (أ١٩٩٧م)، دور الكائنات الحية الدقيقة في الحد من التلوث المعدني، مجلة أخبار النفط والصناعة ٣٢٣(٤-٦)، أبوظبي.

ابن صادق، عبدالوهاب رجب هاشم. (ب١٩٩٧م)، التلوث المعدني، *مجلة أخبار النفط والصناعة* ٣١٧(٣١)، أبوظبي.

ابن صادق، عبدالوهاب رجب هاشم. (ج١٩٩٧م)، دور الكائنات الحية الدقيقة في معالجة النفايات والمخلفات، *مجلة أخبار النفط والصناعة* ٣٢٥(١٦-١٧)، أبوظبي.

ابن صادق، عبدالوهاب رجب هاشم. (أ١٩٩٨م)، التلوث المعدني يقلب ميزان الطبيعة ويهدد صحة البشر، *مجلة البيئة والتنمية* ٣(٥٠)، بيروت.

ابن صادق، عبدالوهاب رجب هاشم. (ب١٩٩٨م)، التحولات الميكروبية للنفط ومشتقاته، *مجلة أخبار النفط والصناعة* ٣٣٠(٢٩-٣٢)، أبوظبي.

ابن صادق، عبدالوهاب رجب هاشم. (١٩٩٩م)، دور ميكروبات الكبريت في التحلل البيئي، *مجلة الجمعية الكيميائية الكويتية* ٣٦(٢٤-٢٧)، الكويت.

ابن صادق، عبدالوهاب رجب هاشم. (١٩٩٧م)، التلوث بالعناصر المعدنية الثقيلة في دول الخليج العربي، *مجلة أخبار النفط والصناعة* ٣٤١(١٠-١١)، أبوظبي.

خلف، صبحي حسين (١٩٨٧م)، *علم الأحياء المجهرية المائي*، جامعة الموصل، الموصل، العراق.

الرّجب، وفاء جاسم والقزاز، حسن محمد (١٩٨٢م)، *أساسيات علم الأحياء المجهرية الغذائي*، جامعة الموصل، الموصل، العراق.

السعد، مها رؤوف (١٩٨٠م). *مبادىء فسلجة الأحياء المجهرية*. جامعة الموصل - العراق.

حجازي، نبيل إبراهيم (١٩٨٩م). *مقدمة في علم الميكروبيولوجيا*، دار المريخ، الرياض.

الكسندر، مارتن (١٩٨٢م). *مقدمة في ميكروبيولوجيا التربة*، الطبعة الثانية، جون وايلي واولاده، نيويورك.

النخال، حمزة محمد (١٩٨٧م). *علم الأحياء الدقيقة*، دار المعارف، القاهرة، مصر.

الرحمة، عبدالله بن ناصر (١٩٩٢م)، *أساسيات علم الفطريات*، عمادة شؤون المكتبات، جامعة الملك سعود، الرياض.

المصلح، رشيد محجوب والحيدري، نظام كاظم (١٩٨٣م). *علم أحياء التربة المجهرية*، مطبعة جامعة بغداد، بغداد، العراق.

طه، صلاح الدين محمود ومحمود، سعد علي زكي (١٩٦٦م)، *ميكروبيولوجيا الأراضي*، الطبعة الثانية، دار المعارف، القاهرة، مصر.

طه، صلاح الدين محمود (١٩٧١م). *البكتيريولوجيا الزراعية*، المركز القومي للاعلام والتوثيق، القاهرة، مصر.

عمر، الفاضل العبيد (١٩٨٦م)، *مبادىء الفيروسات والفطريات الطبية*، مكتبة الطالب الجامعي، مكة المكرمة.

محمد، عبد العظيم كاظم (١٩٧٧م). *مبادىء تغذية النبات*، دار المعارف، القاهرة، مصر.

محمود، سعد علي زكي؛ وعبدالوهاب محمد عبد الحافظ؛ ومبارك، محمد الصاوي (١٩٨٨م). ميكروبيولوجيا *الأراضي*، مكتبة الانجلو المصرية، القاهرة، مصر.

ثانيا: الأجنبية

Abdel-Hafez, S. I. and Abdel-Fattah, H. M. 1981. Effect of carbon level from three organic substrates on Egyption soil fungi. *Plant and Soil* 60: 65-72.

Abuzinadah, R. A. and Read, D. J. 1988. Amino acids as nitrogen sources for ectomycorrhizal fungi: utilization of individual amino acids. *Trans. British Mycol. Soc.* 91(3):473-479.

Agrios, G. N. 1969. *Plant pathology.* Academic press, New York.

Alexandar, M. 1977. *Introduction to soil microbiology.* John wiley & sons. Inc., New York.

Alexander, M. 1999. *Biodegradation and bioremodiation.* Academic press. NewYork.

Allen, M. F. 1991. *The Ecology of mycorrhizae.* Cambridge University press, Cambridge.

Allen, M. F. 1992. *Mycorrhizal functioning.* Chapman and Hall, New York.

Ali, S. And Stokes, J. L. 1971. Stimulation of heterotrophic and autotrophic growth of *Sphaerotilus dihscophorus* by managanous ions. *Antonie Van Leevwenhoek* 37:519-528.

Al-Nasser, I.A. and Hashem, A.R. 1998. Lead, zinc and copper concentration in hair, nails and whole blood of some workers in Saudi Arabia. *J. King Saud Univ., Sci.* 10:95-105.

Alvarez-Tinant, M. C.' Leal , A. and Recalde-Martinez, L.R. 1980. Iron-managanese interaction and its relation to born levels in tomato plants. *Plant Soil* 55:337.

Anderson, A. 1976. On The determination of ecological significant fraction of some heavy metals in soils. *Swed. J. Agric. Res.* 6:19.

Armstrong, W. 1972. Ion Transport and Related Phenomena in Yeast and other Micro-organisms. In: *Transport and Accumulation in Biological Systems* (E. J, Harris, ed), Butterworthes, London , pp. 407-445.

Aronson, J. M. 1982. Cell Wall Chemistry, Ultra-structure and Metabolism. In: *Biology of Conidial Fungi* (P. Cole and J. Hendrick, eds), Academic Press, New York.

Ashida, J. 1965. Adaptation of fungi to metal toxicants. *Ann. Rev. phytopàthol.* 3:153-174.

Ashirov, K. B. and sazanova, I. V . 1962. Metal toxicity. *Microbiologiya* 31:680-683.

Ashworth, L. J. and Amin, J. V. 1964. A mechanism for mercury tolerance in fungi. *Phytopathol.* 54:1459-1463.

Atkinson, D., Bhat, K.K.S., Mason, P. A., Cotts, M. P. and Read, D. J. 1983. *Tree Root Systems and their Mycorrhizas.* Martinus Nijhoff/DRW. Junk Publishers, London.

Babich, H. and Stotziky, G. 1978. Effect of cadmium on the biota influence of enviromental factors. *Adv. Appl. Microbial.* 23: 55-61.

Bagg, A.and Neilands, J. B. 1987. Molecular mechanism of regulation of siderophore-mediated iron assimilation. *Microbiol. Rev.* 51: 509-518.

Bajwa, R.and Read, D. J. 1986. Utilization of mineral and amino Nsources by the ericoid mycorrhizal endophyte *Hymenoscyphus ericaea* and by mycorrhizal and non-mycorrhizal seedlings of Vaccniium macrocarpon . *Trans. British Mycolo. Soc.* 87: 269-277.

Benson, L. M., Evans, R. L. and Peterson, P. J. 1980. Occurance of basidiomycetes on arsenic-toxic mine waste. *Trans. British Mycol. Soc.* 74:199-201.

Berrow, M. L. and Webber, J. 1973. Traee elements in sewage sludge . *J. Sci. Fd. Agri.* 23:93-100.

Berthelin, T. J. and Munier-Lamy, C. 1983. Microbial mobilization and preconcentration of uraniom from various rock materials by fungi. *Ecol. Bull. NFR* 35:395-401.

Bllomfield, C, 1981. The translocation of metals in soils. In : *The Chemistry of Soil* Processes (D. J. Greenland and M. H. B. Hyes, eds), John Willey & Sons, New

York, p. 463.

Boddy L., Wqtling, R. and Lyon, J. E. 1989. *Fungi and Ecological Disturbance.* the Royal Society of Edinburgh, Edinburgh.

Boyer, P. D. 1976. *The Enzymes.* Academic Press , New York.

Boylem, R. W. and Jonasson, I. R. 1973. The geochemistry of arsenic and its use as on indicator element in geochmical propecting. *J. Geochem . Explor.* 2 : 251.

Bradley, R., Burt, A. J. and Read , D. J. 1982. The Biology of mycorrhiza in the Ericaceae. VIII. The roel of mycorrhizal infection in heavy metal resistance. *New Phyto.* 91: 197-209.

Brierly, J. and Brierley, C. 1980 Biological methods to remove selected inroganic pollutants from uranium mine waste water, In. : *Biogeochemistry of Anciant and Modern Environments* (P.A. Turdinger, M.R. Walter and Ralph, B.J., eds), Springer-Verlag, New York, pp. 661-6670.

Brieley, J., Brieley, C. and Dreher, T. 1980. Removal of selected inorganic pollutants from uranhum mine waste water by biological methods. In: *First International Conference on Uranium Mine Waste Disposal* (C. O. Brawner, ed), Society of Mining Engineers, American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Enginnrs, Inc., New York, pp. 365-375.

Brown, M. T. and Wilkins, D. A. 1985. Zinc tolerance of mycorrhizal *Betula. New Phytopathol.* 99:91- 100 .

Burnnet, H. and Zadrazil, F. 1983 . The translocation of mercury and cadmium into the fruting bodies of six higher fungi. Eur. *J. Appl. Microbial. Biotechol.* 17: 358- 364 .

Burt, A. J., Hashem, A. R., Shaw, G. and Read, D. J. 1986. Comparative ånalysis of metal tolerance in ericoid and ectomycorrhizal fungi. In: *Physiological and Genetical Aspects of Mycorrhiza* (V. Gianinazzi-Pearson and Gianinazzi, S. eds.) INRA, Service and publication. France, pp. 683-688 .

Byrne, H., Ravink, V., and Kosta, L. 1976. Trace elements concenration in higher fungi . *The Sc. Total Environ.* 6:65-78.

Cannon, H. L. 1976. Lead invegetation. In: *Lead in the Environment* (T. G. Lovering, ed.) U.S. Geol. Surv. Prof. Pap. 23. p. 957.

Carrod, P. A. 1978. Enzymes and microorganisms in food industry waste and conversion to usueful products: a review of the literature. *Research on Reconversion and Convervation.* 3:165-178.

Cataldo, D. A., Garaland, T. R., and Wildung, R. E. 1978. Nickel in plant. *Plant Physiology.* 62:563-566.

Channey, J., Fisher, W. P. and Hergaty, C. P. 1951. Manganese as an essential elements for sporulation in the genus *Bacillus. J. Bactriol.* 62:145-148.

Cheniae, G. M. and Martin, I. F. 1970. Sites of function of manganese within photosystem.II.Role on O_2 evolution and system. *Biochem. Biophs. Acta* 197:219-239.

Cholodny, N. 1929. Die Eisenbakterien : Beitraege zu einer Monograph Guster Fisher, Jena, Germany.

Cohen, M. S. and Gabriele. M. 1982. Degradation of coal by the fungi *Polyporus* versicolor and Poria monticola. *Appl. Environm. Microbiol.* 44:23-27.

Cooley, N. R., Haslock, H., and Tomsett, A. B. 1986. Isolation and characterization oh cadimum-resistance mutants of *Aspergillus nidulans. Curr. Microbial.* 13:265-268.

Crerar, D. A., Knox, G. W. and Means, J. L. 1979. Mineral Microbiology *Chem. Geol.* 24:111-135.

Cunningham, D. P. and Lundie, L. 1993. Precipetation of cadmium by *Clostridium thermoaceticum. Appl. and Environm. Micrbiol.* 59:7-14.

Darland, G. B., Brock, T., Samsonoff, W. and Conti, S. 1970. Metaltoxicity. *Sciance* 170:1416-1220.

Davis, J. B. 1980. *Applied Soil Trace Elements.* John Wiley & Sons, New York, p. 482.

Davis, J. B. 1967. *Petroleum Microbiology.* ElsevierPublishing Company,London.

Dean, R. B. and Lund, E. 1981. *Water Reuse Problems and Solution.* Academic Press. New York.

Denny, H. J. 1986. Zinc tolerance and ectomycorrhizal *Betula* spp. *ph.D. Thesis,* University of Birmingham, U.K.

Dionis, J. B., Jenny, H. B. and Peter, H. H. 1991. Therapeutically useful iron chelators in: *Hand Book of Microbial Iron Chelaters* (G.Winkelman,ed.) CrC Press, Boca Raton, Florida, pp. 339-356.

Doelman, P. and Hanstra, L. 1979. Effect of lead on the soil bacterial mycoflora. *Soil Biol. Biochem.* 11:487-491.

Duddridge, J. A. and Wainwright, M. 1980. Heavy metal accumulation by aquatic fungi and reduction in vaibility of *Gammarus pules* fed Cd contaninated mycelium. *Water Reuse.* 14:1605-1611.

Duddridge, J. A. and Read, D. J. 1982. An ultra-structural analysis of the development of mycorrhizas in *Rhododenron ponticun. Can J. Bot.* 60:2345-2356.

Dueck, P., Visser, W., Ernst, O., and Schat, H. 1986. Relationship between VA-mycorrhiza and zinc toxicity in *Festuca rubra* L. and Calamagrostis epigjos (L.) Roth. In: *Physiological and Genetical Aspects of Mycorrhiae* (V. Gianinazzi-Pearson and S. Gianinazzi, eds.) INRA, Service des Publication, France, pp. 6610663.

Dyke, K. G. and Parker, M. H. 170. Heavy metals in microorganisms. *J. Med. Mircro.* 3:125-136.

Ehrahadt, H. M. and Rehm. H. 1989. Semeni continuous and continuous degradation of phenol by *Pseudomomnas putida* p8 adsorbed on activated carbon. *Appl. Microb. Biotechno.* 30:312-317.

Ehrlich, L. H. 1981. *Geomicrobiology.* Marcel Dekker, Inc., New York.

Eienstadt, E. 1971. Cation transport during sporulation and germination in *Bacillus subtilis. ph.D. Thesis.* Washington University St.Louis.Missouri.

Ekwenchi, M. M., Akunwanne, N. R. and Ekeyone, K. I. 1990. Geseous fuel production from fungal lignocellulose. *Fuel* 69:1569-1572.

El-Sharouny, H. M., Baggy, M. and El-Shanawany, A. A. 1988. Toxicity of heavy metals to Egyptian soil fungi. *Iner. Biodeter.* 24:49-64.

Evans, Ch., Asher, C., and Johanson, C. 1968.Isolation of dimethyl diselenides and other volatile selenium compounds from *Astragalus racemosus* . *Aust. J. Biol. Sci.* 21:13-18.

Fergusson, J. E. 1990. *The Heavy Elements: Chemistry, Environmental Impact and Health Effects.* Pergmann Press. New York .

Firestone, M. K., Killham, K., and McColl, J. G. 1983. Fungal toxicity of mobilized soil aluminium and manganese. *Appl. Environm. Microbiol.* 46:758-761.

Fiskesjo, G. 1979. Mercury and selenium in a modified Allium test. *Herediatas* 91:169-173.

Foy, C. D. 1974. Effecte of aluminium on plant growth. In:*The Plant Root and its* Environment (E. W. Carson, ed.), Charlttesville University Prss, Virginia.

Foy, C. D., Chaney, R. L. and White, M. 1978. The physiology of metal toxicity in plants. *Annu. Rev.* Physiol. 29:511-516.

Gadd, G. M. 1981. Mechanis implicated in the ecological success of polymorphic fungi in metal-polluted habitates. *Environm. Techno Lett.* 2:531-536.

Gadd, G. M. 1992.Metals and microorganisms: A problem of definition. FMS *Microb. Letters* 100:197-204.

Gadd,G.M. and Griffiths,A.J.1978.Microorganisms and heavy metal toxicity. *Microbial Ecology* 4:303-317.

Gadd, G. M. and Griffiths, A. J. 1980. Influence of pH on toxicity and uptake of copper in *Aurebasidium pollulans. Trans. British Mycol. Soc.* 75:303-317.

Gutenmann, W. H., Bache, C. A., Youngs, W. D. and Jisk, D. J. 1976. Selenium in fly ash. *Sci.* 191:966-963.

Hanert, H. 1974. Metal Metabolism. *Arch. Microbio.* 96:59-74.

Harder, E. C. 1919. Iron depositing bacteria and their geologic relations. U.S. Geol. Surv. Prof. Pap. 133,89.

Harley. J. L. and Smith, S. E. 1983. *Mycorrhizal Symbiosis.* Academic Press, Inc., New York.

Harley, J. L. 1969. *The Biology of Mycorrhiza.* Plant Sci.Mongr.Leonard Hill Ltd., London.

Harley, J. L. and Wilson, J. M. 1959. The absorption of potassium by beech mycorrhizae. *New Phytppathol.* 58:281-298.

Hashem, A. R. 1987. The role of mycorrhizas in the resistance of plants to metals. ph.D. Thesis, University of Sheffield, U.K.

Hashem, A. R. 1989. Effect of copper on the growth of *Aspergillus niger, Penicillium chrysogenum* and *Rhizopus stolonifer. Trans. Mycolo. Soc. Japan* 30:111-119.

Hashem, A. R. 1990. *Hymenoscyphus ericae* and the resistance of *Vaccinium macrocarpon* to lead. *Trans. Mycolo. Soc.* .Japan 35:345-351.

Hashem, A. R. 1991. Comparative analysis of cadimum tolerance in *Hymenoscyphus ericae* and *Pisolithus tinctorius. Trans. Mycolo. Soc.* Japan 42:417-423.

Hashem, A. R. 1992. The role of manganese in the growth of *Fusarium oxysporum* and *Ulocladium tuberculatum* isolated from Saudi Arabian soil. *Trans. Mycolo. Soc. Japan* 33:505-510.

Hashem, A. R. 1993a. Soil analysis and mycoflora of the industrial Yanbu city, Saudi Arabia. *Arab Gulf J. Sc. Res.* 11:91-103.

Hashem, A. R. 1993b. Mercury and the growyh of *Cladosporium herbarum.*

Cryptogamic Botany 4:23-25.

Hashem, A. R. 1993c. Effect of heavy metal toxicity on the growth of *Aspergillus niger* and *Penicillium chrysogenum. Bio. Sci.* 2:35-45.

Hashem, A. R. and Al-Rahmah, A.N. 1993. Growth of *Podaxis pistillaris* collected from Saudi Arabia at different concentrations of cadmium and lead. *J. King Saud Univ., Sci.* 5:127-135.

Hashem, A. R. 1993d. Effect of arsenic on the growth of *Cladosporium herbarum. Cryptogamic Botany* 3:307-309.

Hashem, A. R. 1995a. The role of mycorrhizal infection in the resistance of *Vaccinium macrocarpon* to iron. *Mycorrhiza* 5:451-454.

Hashem, A. R.1995b. Growth and adaptation of *Curvularia tuberculatum* at different cadimum concentration. *Bio. Sc.* 4:33-41.

Hashem, A.R. and Al-Sohabani, S.A. 1995b. Effect of manganese and zinc on the growth of *Alternaria alternata* isolated from Saudi Arabian soils. *Geobios* 22:135-140.

Hashem, A. R. 1995c. Microbial and heavy metal analysis of sewage sludge from Saudi Arabia. *J. King Saud University (Sci.)* 7:207-213.

Hashem, A. R.1995d. The role of mycorrhizal infection in the resistance of *Vaccinium macrocarpon* to manganese. *Mycorrhiza* 5:289-291.

Hashem, A. R. 1995e. Crude oil utilization by fungi isolated from the soil of the industrial Yanbu city, Saudi Arabia. *Geobios* 22:121-124.

Hashem, A. R. 1996a. Metal pollution of sewage sludge from the industrial Yanbu city, Saudi Arabia. *J. King Saud University (Sci.)* 10:1-6.

Hashem, A. R. 1996b. Influence of crude oil contamination on the chemical and microbiological aspects of Saudi Arabian soils. *J. King Saud University (Sci.)* 8:11-18.

Hashem, A.R. 1996c. Effect of cobalt on the growth of the pear fruit pathogen,

Aspergillus candidus and *Aspergillus clavatus* isolated from Saudi Arabia. *Indian Phythopathology* 49: 72-76.

Hashem, A. R. 1996d. Influence of crude oil concentration on the chemical and microbiological aspects of Saudi Arabian soils. *J. King Saud Univ., Sci.* 8:11-18.

Hashem, A. R. 2001, Bidogical treatment of petroleum contamination in Saudi Arabia (uner publication).

Hashem, A. R. and Al-Obaid, A.M. 1996e. Degradation of gasoline by *Aspergillus flavus* isolated from Saudi Arabian soil. *Geobios* 23:185-188.

Hashem, A. R. and Al-Homaidan, A. A. 1989. Effect of lead on the growth of *Coprinus micaceus. Trans. Mycolo. Soc. Japan* 30:365-371.

Hashem, A. R. and Al-Khalil, A. S. 1992. Manganese toxicity to *Candida albicans* isolated from Saudi Arabia. *Geobios* 19:280-284.

Hashem, A. R. and Al-Farhan, A. H. 1993. Mineral content of wild plants from Ashafa, Toroba, Wahat and Wehait, Saudi Arabia. *J. King Saud University (Sci)* 5:101-106.

Hashem, A. R. and Bahkali, A.A. 1994.Toxicity of cobalt and nickel to *Fusarium solani* isolated from Saudi Arabian soil. *Qatar Univ. Sci. J.* 14:63-65.

Hashem, A. R. and Parvez S.1994. Mycoflora of aluminum rich soil of Hail region, Saudi Arabia. *Arab Gulf J. Sc. Res.* 12:41-350.

Hashem, A. R. and Moslem, M. A. 1995a. Boron tolerance and accumulation in *Aspergillus flavus* and *Penicillium citrinum* isolated from Saudi Arabian soil. *J. King Saud University (Sc.)* 7:13-20.

Hashem, A. R. and Al-Harbi, S. A. 2001. Biodegradation of crude oil (under publication).

Hedges, R. and Baumberg, S. 1973. Microbial transformation of arsenic In: *Geomicrobiology* (H. L. Ehrlich, ed.), Marcel Dekker, Inc., New Yourk.

Huckle, J., Andrew, P., Morph, J., Turner, S. and Robison, N. J. 1993. Isolation of a prokaryotic methalothionen locus and control by trace metal ions. *Molecular Microbiol.* 7:177-187.

Hughes, M. K., Leep, N. W. and Phipps, D. A. 1980.Aerial heavy metal pollution and tersterial ecosystems. *Adv. Ecol. Res.* 11:217-226.

Hutchinson, T. C. and Whitby, L. M. 1973. A study of airborne contamination of vegetation and soil by heavy metals from Sudbury, Ontario, copper-nickle smelters In: *Trace Sub. Environm. Health* (D.D. Hemphill, ed.) Univ. of Missouri, Columbia, Mop. 179

Iorza, T. 1969. Metal transformation Z. Lebenzm. Unters. Forsch. 153: 1-6.

Jenkins, S. H. and Cooper, G. S. 1964.The solubility of heavy metal hydroxide in water sewage and sewage sludge. II. The solubility of heavy metals present in digested sewage sludge. Int. *J. Air Water Poll.* 8:69703.

Jernelov, A. 1975. Microbial alkylation of metals In: Int. Conf. on Heavy Metals in the Environm., Toronto, p. 845.

Kabata-Pendias, A. and Pendias, H. 1985. *Trace Elements in Soil and Plants.* CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida.

Kaplovsky, A. J. and Genetelli, E. 1973. Land Disposal of Municipal Effluents and Sludges. Rutger Univ. Press, New Jersey.

Kikuchi, T.1965. Studies on the pathway of sulphide production in a copper-adapted yeast. *Plant Cell Physiol.,* Tokyo 6:195-210.

Killham, K. and Firestone, M.K. 1983. Vesicular-arabuscular mycorrhizal mediation of gross response to acidic and heavy metal depositions. *Plant Soil.* 72:39-48.

Kinsel, N. A. 1960. Iron metabolism. *J. Bacteriol.* 80:628-633.

Kitagishi, K. and Yamane, I. 1981. Heavy metals pollution in Soil of Japan. *Japan*

Sci. Sco. Press, Tokyo, p. 302.

Klug, M. and Reddy, C.A. 1984. *Microbial Ecology.* American Soc. of Microbiolo. Washington, D.C.

Knoll, G. and Winter, J. 1989. Anaerobic degradation of phenol in sewage sludge.Benzuate formation from phenol and carbon dioxide in the present of hydrogen. *Appl. Microb. Biotechno.* 20:285-290.

Komura, I., Izaki, K. and Takahashi, H. 1970. Vaporization oh inorganic mercury by cell-free extract of drug resistant *E.coli. Agro Biol. Chem. Japan* 34:480-482.

Kosta, L., Zelenko, V. and Ravnik, V. 1974. Trace elements in human thyroid with special references to the observed accumulation of mercury following long-term exposure In: Conf. Studies of Food and Environm. Contam., IAEA, Vienna, p. 541.

Kowalski, S. 1987. Mycotrophy of tree in converted stands remaining under storn pressure of industrial pollution. *Angew. Botanik* 61:65-83.

Kramer, P. J. 1969. *Plant and Soil Relationships.* McGraw-Hill book Co. New York.

Kuzenetsova, V. A. and Gorlenko, V. M. 1965. Petroleum microbiology. *Prok. Biokhim. Micribiol.* 1:623-626.

Kuzenetsv, S. I., Ivanor, M.V. and Lyalikova, N. N. L. 1963. *Introduction to Geological Microbiology,* McGraw-Hill, New York.

Lambert, D. H., Colem H. and Baker, D.E. 1980. The role of boron in plant response to mycoorhizal infection. *Plant Soil* 56:431-439.

Lane, S.D., Martin, E.S. and Garrod, J.F. 1978. Lead toxicity effects on indole-3-acetic achd-inducing cell elongation. *Plants* 144:79-86.

Leal. A., Gomez, M., Sanchez-Raya, J., Yanez.J. and Recalde, L. 1972. Effect of boron absorption on accumulation and distribution of phosphate. 3rd Coll.Lc. Controle de Iadimenation des Plants Cultirees, Bodapest, p. 763.

Le Riche, H.H. 1968. Sludge heavy metals toxicity. *J. Agri. Sci. Camb.* 71:205-211.

Levi, M.P. 1969. The mechanism of action of copper-chromearsenate preservative against wood destroying fungi. British Wood Producters Association Annual Convention.

Lillly, W. W., Gerald, J. and Lukefahr, T. 1992. Cadmium absorption and its effects on growth and mycelial morphology of the basidiomycetes fungs, *Schizophyllum commune*. *Micrbios*. 72:227-237.

Lindsay, W.L. 1972. Inorganic phase equlibria of micronutrients soil In: *Micronutient in Agriculture* (J. J. Mortvedt, Giordano, P.M. and Lindsay, W.L., eds.), Soil Sci. Soc. of America, Madison, Wis., p. 41.

Lianos, C. and Kijoller, A. 1976. Changes in the flora of soil fungi following oil waste application. *Oikos* 27:331-382.

Lokesha, S. and Somashekar, R.K. 1990. Effect of heavy metals on the mycelial growth of some fungi under in vitro. *Acta Botanika India* 18:47-50.

Loneragan. J.F., Robson, A.D. and Graham, R.D. 1981. *Copper in Soils and Plants.* Academic Press, New York.

Lundgren, D.G. and Silver, M. 1980. Ore leaching by bacteria. *Annual Rev. Microbiolo.* 34:263-283.

Lunt, H.H. 1953. The case of sludge as a soil improves. *Water Sewage Worker* 100:295-301.

Malavasic, M.J. and Cihlar, R.L. 1992. Growth response of several *Candida albicans* strains to inhibitory concentration of heavy metals. *J. Medical and Veterinary Mycol.* 30:421-423.

Maliszewaska, W. 1972. Influence decertains oligo-elements sur Iactivite de quelques processus microbiologiques du sol. Rev. *Ecol. Biol. S.* 9:505.

Markes, G.C., Kozolowski, T. and Yamashita, S. 1982. Myco-inositol transport in *Saccharomyces cerevisiae*. *J Bacteriol.* 150:441-446.

Martin, G.W. 1961. Key to the families of the fungi In: *Dictionary of the Fungi* (G.C.

Ainshworth, ed.), Commenwealth Mycolo. Instutute, Kew, Surry, pp. 325-335.

Matsumoto, H., Morimura, S. and Takahashi, E. 1977. Less involvement of pectin in the precipitation of aluminium in *Pea* root. *Plant Cell Phsiolo.* 18:325-335.

McCreight, J.D. and Schroeder, D.B. 1982. Inhibition of growth of nine ectomycrrohizal fungi by cadimum, lead and nickel in vitro. *Environmental and Experimental Botany* 22:1-7.

Mengel, K. and Kirkby, E.A. 1982. *Principles of Plant Nutrition.* Inter.Potash Institute, Bern, Switzerland.

Michael, O.G. and Evans, R. 1973. *Ectomycorrhizae: Thier structure and function.* Academic Press, New York.

Mitchell, J.J. 1993. *Environmental Microbiology.* John Wiley & Sond, Inc. New York.

Mortvedt, J.J., Giordano, P.M. and Lindsay, W.L. 1972. *Micronutrients in Agriculture.* Soil Sci. Soc. of America, Madison, Wis.

Naiki, N. 1957. Studies on the adaptation of yeast to copper. XVII. Copper-binding sulphur substances of the copper- resistance substrains. *Mem. Col. Sci.Kyoto Univ.* B 24:243-249.

Nakajima, A., Horikoshi, T. and Sakaguchi, T. 1982.Recovery of uranium by immobilized microorganisms. Eur. *J. App. Microbiolo. Biotechnolo.* 16:88-91.

Naziana, T.N. and Rozanova, E.P.1987. Microbial transformation. *Mikrobiologiya* 47:142-148.

Nielson, A.M. and Beck, J.V. 1972. *Science* 175:1124-1126.

Nies, D. 1992. Products affecting regulation of resistance to cobalt,zinc and cadmium (czc system) in *Alcaligenes eutrophus. J. Bacteriolo.* 174:8101-8110.

Nikawa, J.I., Nagumo, T. and Yamashita, S. 1983. Myo-inositol transport in Saccharomyces cerevisiae. *J. Bacteriolo.* 150:441-446.

Nordberg, G.F. 1974. Health hazards of environmental cadmium pollution. *Ambio*

3:55.

O'Hara, G.W., Goss, T.J., Dilworth, M.J. and Gleen. A.R. 1989. Maintenance of intracellular pH and acid tolerance in *Rhizobium meliloti. Appl. Environm. Microbiol.* 31:221-226.

Paton, V.H. and Budd, K. 1972. Zinc uptake in *Neocosmospora vasinfecta. J. Gen. Microbiol.* 72:173-184.

Paulu, V. and Bresinsky, W. 1989. Soil fungi and other microorganisms In: *Forest Decline and Air Pollution Ecological Studies* (E.D. Schulze, Lange, O.L. and Oren, R., eds.), Springer-Verlag, New York, pp. 110-120.

Price,C.A.,Clark,H.E. and Funkhouser, E.A. 1972. Function of micronutrients in plants In: *Micrinutients in Agriculture* (J.J.Mortvedt, P. M. Giordano and P.M.Lindsay,eds.),Soil Sci.Doc. of America,Madison,Wis.

Quinche, J.P. 1979. Lagaricus bitorquis, un champignon accumulatner de mercure de selenium et de cuiver. Rev.Suiss, Vitic, Arboric. *Hortic.* 11:189-195.

Ramamoorthy, S. and Kushner, D. 1975. Binding of mercuric and other metal ions microbial growth media. *Microb. Ecol.* 2:162-176.

Razanova, E. P. and Shturm, L.D. 1965. Biodegredation of crude oil. *Mikrobiologiya* 34:888-894.

Read, D.J. and Bajwa, R.1985. Some nutritional aspects of the biology of ericaceous mycorrhizas. Proceeding of the Royal Soc. of Edinburgh 85B:317-332.

Reiss, E. and Nickerson, W.j. 1974.Control of dimorphism in *Pialophora verrucosa. Sabourandia* 12:202- 213.

Rerkasem, B. 1977. Differential sensitivity to soil acidity of legume-Rhizobium symbiosis. ph.D. Thesis Univ. of W. Aust. Nedllands.

Robson, A.D. and Abbott, L.K. 1987. The effect of soil acidity on microbial activity In: *Soil Acidity and Plant Growth* (A.D. Robson, ed.), Academic Press, Sydnym Australia.

Rogoff, M.H., Wander, I. and Anderson, R.B. 1962. *Microbiology of Coal.* U.S. Bur. Mines Infor. Circ. 8075.

Ross. I.S. 1975. Some effect of heavy metal on fungal cells. *Trans. British Mycol. Soc.* 64:175-193.

Ross, I.S. 1982. Effect of copper,cadmium and zinc on germination and mycelial growth of *candida albicans. Trans. British Mycol. Soc.* 78:543-545.

Rozanova, E. P. 1971. Metal toxicity. *Mikrobiologiya* 40:152-157.

Sandmann, G. and Boger,O. 1980. Copper-mediated lipid peroxidation process in photosynthetic membranes. *Plant Physiol.* 66:797.

Savitha, J. 1986. Utilization of hydrocarbon in crude oil by fungi. *Current Sci.* 55:1248-1249.

Schinder, M. and Osborn, M.J. 1979. Interaction of divalent cations and polmyxin B with Lipopolysaccharide. *Biochem.* 18:4425-4431.

Schuler, R. and Haselwandter, K. 1988. Hydroxamate siderophore production by ericoid mycorrhizal fungi. *J. Plant Nutrition* 11:907-913.

Scott, C.D. and Lewis, S.W. 1991. Solubilization of coal by microbial action In: *Bioprocessing and Biotreatment of Coal* (D.L. Wise, ed.), Marcel Dekker, New York, pp. 275-292.

Shackelette, H.t., Erdman, J.A. and Harms, T.f. 1978. Trace element in plant foodstuffs In: *Toxicity of Heavy Metals in Environment* (F.W. Oenme, ed.), Marcel Dekker, New York, p.25.

Shaw, G.J., Leake, A,J., Baker, M. and Read, D.J. 1990. The biology of mycorrhiza in the ericaceae XVII. The role of mycorrhizal infection in the regulation of iron uptake by ericaceous plants. *New Phytopathol.* 115:251-258.

Shukla, V.C. and Yadav, O.P. 1982. Effect of phosphorus and zinc on nodulation and nitrogen fixation in chickpea *(Cicer arietinous).* Abstr. 12th Int. Soil Conger., New Delhi,54.

Silver, S., Johanseine, P. and king, K. 1970. Manganese active transport in *Escherichia coli. J. Bacteriolo.* 104:1299-1306.

Somers, E.1963. The uptake of copper by fungal cells.Ann. *Appl. Biol.* 51:425-437.

Sounderman, F.W. 1980. Chelating therapy in nickel poising In: *Proc.Nicked Symp.* (M. Anke, H.J. Schneider and Chr. Bruckner, eds.), Friedrich-Schiller Univ. Jena, p.359.

Strakey, R.L. and Waksman, S.A. 1943. Fungi tolerant to extreme acidity and high concentration of copper sulphate . *J. Bacteriol.* 54:1248-1249.

Strandberg, G., Shumate, S. and Parrott, J. 1981. Microbial cells as biosorbents for heavy metals: accumulation of uranium by *Saccahromyces cerevisiae* and *Pseudomonas aeruginosa. Appl. Environm. Microbiol.* 41:237-245.

Sulochana, C.B. and Lakshmanan, M. 1968. *Aspergillus niger* technique for bioassay of manganese. *J. Gen, Microbiol.* 50:285-293.

Syers, J.K., and Iskandar, I.K. 1973. *The lichens* (V. Ahmadjian and M.E. Hale, eds.), Academic Press, New York, pp. 225-248.

Tan, T., and Leong, W. 1986. Screening for extracellular enzymes of fungi from manufacturing wastes. *Micron J.* 2:445-452.

Tiffin, L.O. 1977. The form and distribution of metals in plants: an overview In: Proc. Hanford Life Sc. Symp. U.S. Department of Energy, Symp. Series, Washington, D.C., p. 315.

Tjell. J.Ch. and Hovmand, M.F. 1972. Metal concentrations in Danish arable soils. *Acta. Agric. Scand.* 28:81.

Tuominen, Y. and Jaakola, T. 1973. *The lichens* (V. Ahmadjian and M. E. Hale, eds.), Academic Press, New York. pp. 185-223.

Tuovnen, O.H. and Kelly, D.P. 1974. Use of microorganisms for the recovery of metals. Int. *Metal Rev.* 19:21-31.

Tsezos, M. 1983. The role of chitin in uranium adsorption by *R. arrhizus.* Biotechnolo. *Bioeng.* 25:2025-2050.

Tyler, G. 1975. *Effect of Heavy Metal Pollution on Decomposition in Forest Soil.* SNV/PM. Lund Univ., Lund, Sweden, p.47.

Utkin, I.B., Yakimor,M.M., Matveera, L.N., Kozlyok, E.L., Rogozhin, I.S. and Bezborodov, A.M. 1992. Degradation of benzene,toluene and oxylene by a *Pseudomonas* spp. 13 culture. *Appl. Biochem. and Microb.* 28:275-280.

Vallee, B. and Ulmer, D. 1972. Biological effects of mercury, cadimum and lead. *Ann, Rev. Biochem.* 49:91-128.

Wada, K., Seirayosakol, A., Kimura, M. and Takai, Y. 1978. Selectiveadsorption of zinc on halloysite. *Clay Clay Miner.* 28:321.

Wainwright, M. and Grayston,S. 1986. Oxidation of heavy metal sulphides by *Aspergillus niger* and *Trichoderma harzianum. Trans. British Mycol. Soc.* 86:264-272.

Wainwright, M. 1992. *An Introduction to Fungal Biotechnology.* Wiley Publi. Sci., New York.

Wainwright, M., Graystone, S.J. and Jong, P. 1986. Adsorption of insoluble compound by mycelium of the fungus. Enzy. *Microb. Biotechnolo.* 8:597-600.

Wang, G.M., Stribley, D.P and Tinker, P.B. 1985. Aluminium toxicity In: *Ecological Interaction in Soils* (A.Fitter, D.Atkinson, D.J. Read and M.B. Usher, eds.), blackwell, Oxford, pp. 219-225.

Webber, J. 1972. Effects of toxic metals in sewage on corps. *Water Pollution Control* 71:404-413.

Weinberg, E.D. 1977. *Microorganisms and Minerals.* Marcel Dekker, Inc., New York.

Weiss, A. and Silver, S. 1977. Plasmid-determined cadmium resistance in *Staphyllococcus aureus*: cadmium,manganese and zinc transport systems. *J. Bacteriol.* 30:101-108.

Welch, R.M. 1979. The biological significance of nickel. Int. Symp. Trace element Stress in Plants, Los Angeles, 6:36.

Winkelmann, G. and Winge, D.R. 1994. *Metal Ions in Fungi.* Marcel DekkerInc., New York.

Winogradsky, S. 1922. Metal toxicity. Zentrabl. Bakteriol. Parasitendk Infektionskr. *Hyg. Abt.* II. 57:1-21.

Wood, M. 1986. Aluminum toxicity to Rhizobia In: *Perspective in Microbial Ecology* (F. Megusar and M. Gantar, eds.), Ljubljana, *Slovene Soc. for Micobiolo.*, pp. 659-663.

Woolhouse, H. W. and Walker, S. 1981. The physiological basis of copper toxicity and copper tolerance in higher plants In: *Copper in Soil and Plants* (J.F. Loneragam, J. F. Robson and R.D. Graham, eds.), Academic Press, New York.

Yamamasaki, Y. and Tsuchiay, S. 1964. Studies on drug resistance of the rice fungus, *Piricularia oryzae*. Bull. Natt. Ints. *Agr. Sci. Japan* D11:1-15.

Zajic, J. E. and Chiu,y.S.1972. Recovery of heavy metals by microbes. *Dev. Ind. Microbio.* 13:91-100.

Zajic, J. E. 1969. *Microbial Biogeochemistry*. Academic Press, New York, P. 260.

Zborishhchu, K. J. N. and Zyrin, N. G. 1978. Copper and zinc in the ploughed layer of soils of the European USSR, *Pochrovedenie* 1:31.

Zimdahl, R. and Koeppe, D. 1977. Metals uptake by plants In: *Lead in the Environment* (W.R.Boggess and B.G.Wixon,eds.), Roport NSF, National Sci.Foundation, Washington, D. C.

ثبت المصطلحات العلمية

أولاً: عربي – إنجليزي



أجسام عديدة الفوسفات	Polyphosphate bodies
أحماض اشنية	Lichens acids
الاختزال	Reduction
الادمصاص (الإمتزاز)	Adsorption
الإذابة	Solubilization
إزالة السمّية (نزع السمية)	Detoxification
الازدهار (الإثراء) الغذائي	Eutrophication
استصلاح	Rehabilitation
أشنات	Lichens
إعادة التدوير	Recycled
الأكسدة	Oxidation
إلتهام حويصلي	Pinocytosis
ألومنيوم	Aluminium

الامتصاص	Absorption
امتصاص حر	Passive absorption
الامتصاص الحيوي (النقل الحيوي)	Active transport
امتصاص حيوي	Biosorption
انتشار	Diffusion
انتشار انسيابي	Passive diffusion
انتشار مدعم	Facilitated
إنزيم البروتينيز	Protenase
إنزيم الخارصين المعدني	Zinc metalloenzyme
إنزيمات خارجية	Extracellular enzymes
إنزيم الفوسفوتيز	Phosphatase
إيثان	Ethane

ب

البارفين	Parafene
بروبان (بروبين)	Propane
بروتينات الارتباط	Binding proteins
البكتيريا المغلفة المرسبة للحديد	Iron-depositing sheathed bacteria
البكتيريا الخضراء المزرقة	Cyanobacteria
بكتيريا سالبة لصيغة جرام	Gram negative
بكتيريا النيترة	Nitrifying bacteria
بكتيريا لاهوائية	Anaerobic bacteria
بكتيريا اليوريا	Urea bacteria
بناء ضوئي	Photosynthesis

بوتاسيوم	Potassium

ت

تبادل كاتيوني	Cation exchange
تثبيت النتروجين	Nitrogen fixation
تثبيت النتروجين الجوي لا تكافلياً	Non-symbiotic nitrogen fixation
التجوية الطبيعية	Physical weathering
التجوية الكيميائية	Chemical weathering
تحلل (تجزئة)	Degradation
التحلل المائي	Water hydrolysis
تداخلات	Interaction
تراكم داخل الخلية	Intracellular accumulation
تضاد حيوي	Antibiosis
تفاعلات إضافية (تفاعل بالجمع)	Additive reaction
تركيز أيون الهيدروجين	Ion hydrogen concentration
تكوين العقد الجذرية	Nodulation
تلوث الهواء	Air pollution
تلوث معدني	Mineral pollution
تمثيل غذائي	Nutrition assimilation
تمثيل الكربون	Carbon assimilation
التنشيط	Activation
تنفس هوائي	Aerobic respiration

ث

الثبوت (تمثيل العناصر)	Immobilization

ج

جازولين (بنزين)	Gasoline
جدار خلوي (جدار الخلية)	Cell wall
جراثيم كلاميدية	Chlamydospores
جليكو بروتين	Glycoprotein

ح

حجر جيري	Lime stone
حديد	Iron
الحمأة	Sludge
حمض أميني	Amino acid

خ

خام الجيوتيت	Geothite
خام السدريت (حديد النيازك)	Siderite
خام هيماتيت (خام الحديد)	Hematite

د

دورة الكربون	Carbon cycle

ذ

ذاتية التغذية كيميائية (كيمو ذاتية التغذية)	Chemoautrophic

ر

رصاص	Lead

ز

زرنيخ	Arsenic
زيت حجري	Shale oil

س

السطح السفلي	Bottom Horizon
السطح العلوي	Surface horizon
سلسلة نقل الألكترونات	Electron transport chain
سلينيوم	Selenium
سيتوكروم	Cytochrome

ش

شعيرات جذرية	Root hair

ص

صخور حامضية	Acid rocks
صرف صحي	Sewage
صوديوم	Sodium

ع

عديد التسكر	Polysaccharide
علاج	Remediation
علاقة تعاون (علاقة مفيدة)	Beneficial
علاقة تكافل (تعايش)	Symbiosis
علاقة تنافس (علاقات تضاد)	Antagonistic

علاقة محايدة	Neutralism
عناصر معدنية كبرى	Macroelement
عناصر مغذية	Nutrients
البورون	Boron
الخارصين	Zinc
ضروري	Essential element
غير ضروري	Non-essential element
عوامل النمو	Growth factors

غ

الغاز الطبيعي	Natural gas
غشاء بلازمي	Plasma membrane

ف

فحم	Coal
الفسفرة	Phosphoriliation
الفطريات الجذرية الحويصلية الشجيرية	Vesicular-arbuscular mycorrhiza
الفوسفور	Phosphour
فيتامينات	Vitamins

ك

اختيارية الحموضة	Facultative acidophiles
إجبارية الحموضة	Obligate acidophiles
ذاتية التغذية	Autotrophic microorganisms
محبة للبرودة	Psychrophiles
محبة للحرارة العالية	Thermophiles
لا هوائية إجبارية	Obligate anaerobes
إجبارية التهوية	Obligate aerobic

لا هوائية إختيارية	Facultative anaerobic
محبة للملوحة	Halophilic
الكادميوم	Cadmium
كالسيوم	Calcium
الكوبالت	Cobalt
كبريت	Sulfur
كيتين	Chitin
كيروسين	Kerosene

م

ماء عذب	Fresh water
مادة عضوية	Organic matter
مبيد فطري	Fungicide
مبيدات آفات	Pesticides
مبيد فطري (بوردو)	Bordeaux
متطلبات الأكسجين الكيميائي	Chemical oxygen demand
متطلبات الأكسجين الحيوي	Biological oxygen demand
مجموعة النقل	Group translucation
محبة للضغط الأسموزي	Osmophilic
مرافق لعامل	Cofactor
مرض التبقع الرمادي	Gray-spech disease
مركبات اليفاتية	Alphatic compound
مركبات مخلبية	Chelating agent
مرور (اجتياز)	Passage
مستقبل الكتروني	Electron acceptor
مشتقات النفط (منتوج نفطي)	Petroleum products

مطر حمضي	Acid rain
معادن ثقيلة	Heavy metals
معالجة بيولوجية	Biological treatment
مفاعل حيوي	Bioreacter
مقدار ضئيل	Trace
منجنيز	Manganese
منطقة الجذور	Rhizosphere
مواد منظمة	Buffering substances

ن

نادر	Rare
نباتات بقولية	Legume plants
نبات الشورى	Mangrove
نباتات مقاومة للألومنيوم	Al-tolerant plants
نترات	Nitrate
نتروجين	Nitrogen
نحاس	Copper
النشدرة	Ammonification
نظام بيئي	Ecosystem
نظام الاحتياج لنقل الطاقة	Energy-dependent transport system
نفاذية انتقائية	Selective permeability
نفط	Petroleum
نقل	Transport
نمو الجراثيم البكتيرية (تبوغ البكتيريا)	Bacterial sporulation
النيترة (النترتة) – التأزن	Nitrification
النيكل	Nickel

و

وفرة	Availability
وقود حجري (وقود متحجر)	Fossil fuel

ي

يورانيوم	Uranium

ثانياً : إنجليزي – عربي



Absorption	الامتصاص
Acid rain	مطر حمضي
Acid rocks	صخور حامضية
Activation	التنشيط
Active transport	الإدمصاص الحيوي
Additive reaction	تفاعلات إضافية
Adsorption	الإدمصاص (الإمتزاز)
Aerobic respiration	تنفس هوائي
Air pollution	تلوث هوائي
Alphatic compound	مركبات إليفاتية
Al-tolerant plants	نباتات مقاومة للألومنيوم
Ammonification	النشدرة
Anaerobic bacteria	بكتيريا لاهوائية
Antagonistic	علاقة تنافس(تضاد)
Antibiosis	تضاد حيوي
Autotrophic microorganisms	كائنات حية دقيقة ذاتية التغذية

B

Bacterial sporulation	التجرثم البكتيري
Beneficial	علاقة تعاون
Binding proteins	بروتينات الارتباط
Biological oxygen demand	متطلبات الأكسجين الحيوي
Biological treatment	معالجة بيولوجية

Bioreacter	مفاعل حيوي
Biosorption	امتصاص حيوي
Fungicide	مبيد فطري
Boron	عنصر البورون
Buffering substances	مواد منظمة

C

Cadmium	كادميوم
Calcium	الكالسيوم
Carbon cycle	دورة الكربون
Carbon assimilation	تمثيل الكربون
Cation exchange	تبادل كاتيوني
Chelating agents	مركبات مخلبية
Chemical oxygen demand	متطلبات الأكسجين الكيميائي
Chemical weathering	التجوية الكيميائية
Chemoautotrophic	ذاتية التغذية كيميائية (كيمو ذاتية التغذية)
Chlamydospores	جراثيم كلاميدية
Coal	فحم
Cobalt	الكوبالت
Cofactor	عامل مرافق
Copper	عنصر النحاس
Cyanobacteria	بكتيريا خضراء مزرقة
Cytochrome	سيتوكروم

D

Degradation	تحلل (تجزئة)

إزالة السمية	Detoxification
انتشار	Diffusion

E

نظام بيئي	Ecosystem
مستقبل إلكتروني	Electron acceptor
سلسلة نقل الإلكترونات	Electron transport chain
نظام الاحتياج لنقل الطاقة	Energy - dependent transport system
عنصر ضروري	Essential element
إيثان	Ethane
الإزهار	Eutrophication
إنزيمات خارجية	Extracellular enzymes

F

انتشار مدعم	Facilitated
إختيارية الحموضة	Facultative acidophiles
لاهوائية إختيارية	Facultative anaerobic
ماء عذب	Frash water
مبيد فطري	Fungicide
وقود حجري	Fossil fuil

G

جازولين (بنزين)	Gasoline
خام الجيوتيت	Geothite
جليكوبروتين	Glycoprotein
سالبة لصبغة جرام	Gram negative

Group translucation	مجموعة النقل
Growth factors	عوامل النمو

H

Halophilic	محبة للملوحة
Heavy metals	معادن ثقيلة
Hematite	خام الحديد

I

Iron	عنصر الحديد
Ion -hydrogen concentration	تركيز أيون الهيدروجين
Immobilization	الثبوت
Intracellular accumulation	تراكم بين خلوي
Interaction	تداخلات

K

Kerosene	كيروسين

L

Lead	رصاص
Legume plants	نباتات بقولية
Lichens	أشنات
Lichens acids	أحماض أشنية

M

Macroelement	عناصر كبرى

Manganese	منجنيز
Mangrove	نبات الشورى
Mineral pollution	تلوث معدني

N

Natural gas	الغاز الطبيعي
Neutralism	علاقة محايدة
Nickal	النيكل
Nitrate	نترات
Nitrification	النيترة (النترتة) أو التأزت
Nitrogen Fixation	تثبيت النيتروجين

O

Obligate anaerobic	لاهوائية إجبارية
Obligate acidophilic	إباريج الحموضة إجبارية الحموضة
Obligate aerobic	إجبارية التهوية
Organic matter	مادة عضوية
Osmophilic	محبة للضغط الأسموزي العالي
Oxidation	الأكسدة

P

Parafen	بارافين
Passage	مرور (اجتياز)
Passive absorption	امتصاص حر
Passive diffusion	انتشار انسيابي
Petroleum	نفط

Pesticide	مبيد حشري
Phophatase enzyme	إنزيم الفوسفوتيز
Phosphorilation	الفسفرة
Physical weathering	التجوية الطبيعية
Pinocytosis	التهام حويصلي
Plasma membrane	غشاء بلازمي
Potassium	البوتاسيوم
Psychrophiles	محبة للبرودة المنخفضة

R

Rare	نادر
Recycle	إعادة التدوير
Reduction	الاختزال
Rehabilitation	استصلاح
Remediation	علاج
Rhizosphere	منطقة الجذور
Root hair	شعيرات جذرية

S

Se'ective permeability	نفاذية انتقائية
Selenium	سيلينيوم
Sewage	صرف صحي
Shale oil	زيت حجري
Sludge	الحمأة
Sodium	الصوديوم
Solubilization	الإذابة

Sulfur	الكبريت

T

Trace	ضئيل
Transport	نقل
Thermophiles	محبة للحرارة العالية

U

Uranium	اليورانيوم
Urea bacteria	بكتيريا اليوريا

V

Vesicular-abuscular mycorrhiza	الفطريات الجذرية الحويصلية الشجيرية
Vitamines	فيتامينات

W

Water hydrolysis	التحلل المائي

Z

Zinc	الخارصين
Zinc metalloenzyme	إنزيم الخارصين المعدني

كشاف الموضوعات

















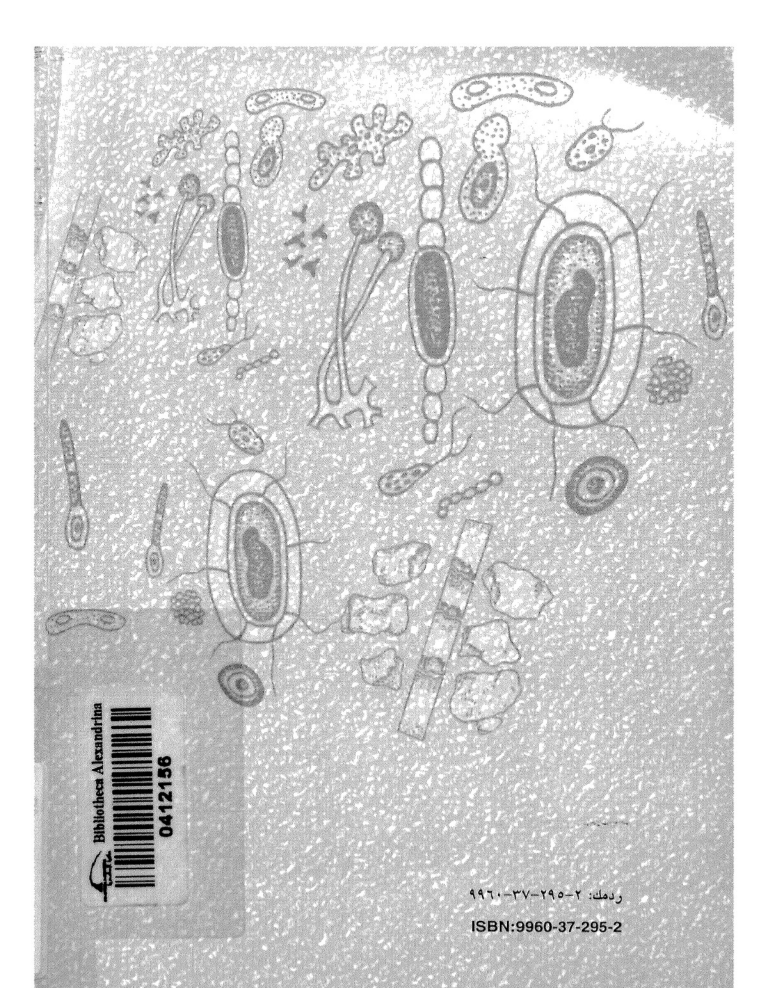
الدكتور عبدالوهاب رجب هاشم بن صادق

أستاذ التلوث الميكروبي البيئي،

كلية العلوم، جامعة الملك سعود

المملكة العربية السعودية

* عمل مدرسًا مساعدًا ثم أستاذًا مشاركًا ولايزال على رأس العمل بوظيفة أستاذ بكلية العلوم بجامعة الملك سعود، الرياض، المملكة العربية السعودية.
* يقوم بتدريس بعض مقررات درجة البكالوريوس والدراسات العليا بالإضافة إلى الإشراف على الرسائل العلمية ومناقشتها.
* نشر أكثر من (٥٥) بحثًا في مجال الأحياء الدقيقة والتلوث البيئي والتحليل الميكروبي والمعدني للماء والتربة ومخلفات الصرف الصحي في المملكة العربية السعودية بالإضافة إلى المعالجة البيولوجية للتلوث النفطي ومشتقاته والدراسات الخاصة بالتحليل المعدني للشعر والأظافر والدم ودراسة خاصة عن التحليل الميكروبي والمعدني لمدينتي الجبيل وينبع الصناعيتين.
* له العديد من المقالات العلمية عن مؤشرات التلوث البيئي في العديد من المجلات الثقافية بالإضافة إلى المشاركة في المؤتمرات والندوات المحلية والعالمية.
* من مؤلفاته التي صدرت: «التجارب العملية في أسس الأحياء الدقيقة» وكتاب «التجارب العملية في علم الأحياء الدقيقة التعديني» وكتاب «التلوث البيئي» وكتاب: «التجارب العملية في أسس التلوث الميكروبي البيئي» بالإضافة إلى كتاب «ميكروبيولوجيا التعدين» وكتاب «الأمن البيئي».
* عضو في العديد من الجمعيات العلمية العالمية، كما قام بتحكيم العديد من الأبحاث العلمية ومسابقات المناطق العلمية وتقويم أبحاث الترقية داخل المملكة العربية السعودية وخارجها.
* له العديد من المشاركات المختلفة في مجال الجامعة وخدمة المجتمع.
* أستاذ متعاون، جامعة سانادياجو الحكومية للعام الجامعي ٩٣/١٩٩٤م.
* شارك في العديد من المجالات الخاصة بخدمة الجامعة والمجتمع وتقديم المحاضرات والندوات عن الأمن البيئي في وسائل الإعلام المختلفة والقطاعات العسكرية والمدنية.
* أستاذ زائر، جامعة تنسي للعام الجامعي ٩٩/ ٢٠٠٠م.
* رئيس اللجنة العلمية لمؤتمر الخليج العربي للمياه، الدوحة، قطر (٢٠٠١م).
* ضمن قائمة الخبراء للمكتب الإقليمي لغرب آسيا، برنامج الأمم المتحدة للبيئة، البحرين والأمانة العامة لدول الخليج العربي (شؤون الإنسان والبيئة) الرياض.



Bibliotheca Alexandrina
0412156

ردمك: ٩٩٦٠-٣٧-٢٩٥-٢

ISBN:9960-37-295-2